

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra robotiky

Více přísavkový efektor pro paralelní robot ABB IRB 360

Design of Multi-vacuum Effector for parallel Robot ABB IRB 360

Student:

Martin Kaszper

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Jiří Marek

Ostrava 2015

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra robototechniky

Zadání bakalářské práce

Student: **Martin Kaszper**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 2301R013 Robotika
Téma: **Vícepřísavkový efektor pro paralelní robot ABB IRB 360**
Design of Multi-vacuum Effector for parallel Robot ABB IRB 360

Zásady pro vypracování:

1. Analyzujte aktuální stav robotu ABB IRB 360 na CR, navrhnete možná řešení pro vícepřísavkový efektor s ohledem na dohodnuté OM.
2. Proveďte hodnotovou analýzu navržených variant.
3. Konstrukční návrh optimální varianty zpracujte do úrovně technické dokumentace – dle pokynů vedoucího.
4. Vypracujte cenovou kalkulaci pro výsledný efektor.
5. Práci též doložte v elektronické podobě ve formátu .doc či .docx, .pdf a v CAD systému (dle pokynů vedoucího).

Seznam doporučené odborné literatury:

SKAŘUPA, Jiří. *Průmyslové roboty a manipulátory*. 1. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2007, 1 CD-R. ISBN 978-80-248-1522-0.

SKAŘUPA, Jiří. *Roboty a manipulátory*. Vyd. 1. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2012, 1 CD-ROM. ISBN 978-80-248-2613-4.

TOMÁŠ, Jaroslav. *Realizace efektoru s přísavkami pro PR ABB IRB 140*. Ostrava, 2010. Dostupné z: <http://dspace.vsb.cz>. Diplomová práce. VŠB-TUO. Vedoucí práce Václav Krys.

LIPINA, Jan a Jiří MAREK. *Ovládání a programování robotů ABB: laboratorní cvičení v oboru II*. Vyd. 1. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2012, 1 DVD-ROM. ISBN 978-80-248-2753-7. Dostupné z: <http://robot.vsb.cz>

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jiří Marek**

Datum zadání: 31.10.2014

Datum odevzdání: 18.05.2015

prof. Dr. Ing. Petr Novák
vedoucí katedry



doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě, 18. 5. 15

.....

Kaszper Martin

Prohlašuji, že

- jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.
- byl jsem seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci, obsažené v Záznamu o závěrečné práci, umístěném v příloze mé bakalářské práce, budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnou licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě, 18. 5. 15

.....

Kaszper Martin

Trvalé bydliště:

Vojkovice 134

739 51

Poděkování

Děkuji vedoucímu mé bakalářské práce panu Ing. Jiřímu Markovi za cenné rady, připomínky a poskytnuté konzultace v průběhu přípravy bakalářské práce. Rovněž chci poděkovat panu Ing. Milanu Miholovi, Ph.D. za pomoc s konstrukční částí práce. Děkuji také své rodině a všem těm, kteří mne po celou dobu mého studia morálně a finančně podporovali.

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

KASZPER, M. *Více přísavkový efektor pro paralelní robot ABB IRB 360:*

Bakalářská práce. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta Strojní, Katedra Robotiky, 2015, 59 s., vedoucí: Ing. Jiří Marek

Bakalářská práce se zabývá konstrukčním návrhem víceprísavkového efektoru pro paralelní robot ABB IRB 360. V úvodu práce je popsán vývoj a současná rodina robotu ABB IRB 360. Práce obsahuje 4 navržené varianty řešení, z nichž byla pomocí hodnotové analýzy vybrána optimální varianta. Dále jsou v práci popsány různé typy přísavek a uvedeny potřebné výpočty pro návrh průměru přísavek. V závěru práce je vyhotovena analýza napětí a průhybu efektoru zpracovaná v programu Creo Parametric 2.0. V příloze najdeme výrobní dokumentaci. Na přiloženém CD je 3D model optimální varianty zpracovaný v programu Creo Parametric 2.0.

ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

KASZPER, M. *Design of Multi-vacuum Effector for parallel Robot ABB IRB 360.*

Bachelor thesis. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of robotics, 2015, 59 p., The head of the thesis: Ing. Jiří Marek

This thesis deals with the structural design of multi-vacuum effector for parallel robot ABB IRB 360. The introduction describes the development and contemporary family of ABB IRB 360 robot. The work includes four suggested variants of a solution, where there have been selected the best option by value analysis. Furthermore, the work describes various types of suction cups and gives the necessary calculations to design the diameter of suction cups. As a part of the conclusion there is an analysis of stress and deflection of effector processed in Creo Parametric 2.0. Production documentation is in the attachment. On the CD enclosed, there is a 3D model of the optimal treatment option created in Creo Parametric 2.0 program.

OBSAH

1. ÚVOD.....	11
2. Roboty s paralelní strukturou	12
2.1. Delta struktury.....	12
2.2. Použití delta struktur	12
2.3. Základní informace o robotu	13
2.4. Základní verze robotu	15
2.5. Pracoviště na centru robotiky.....	16
3. Princip přísavek	16
3.1. Rozdělení přísavek dle principu vytvoření vakua	16
3.1.1. Pasivní přísavka bez ovládání.....	16
3.1.2. Pasivní přísavka s ovládáním.....	17
3.1.3. Aktivní přísavka.....	17
3.2. Rozdělení přísavek dle tvaru a účelu použití	18
3.3. Materiál přísavek.....	20
3.4. Návrhové výpočty přísavek.....	20
3.5. Stavebnicové přípravky	21
4. POŽADAVKOVÝ LIST	23
5. Varianty řešení.....	24
5.1. Varianta A	24
5.2. Varianta B	25
5.3. Varianta C	26
5.4. Varianta D	28
6. Výběr optimální varianty.....	29
6.1. Ohodnocení jednotlivých kritérií	29
6.2. Kritéria	29
6.3. Popis jednotlivých kritérií	30
6.4. Hodnoty kritérií.....	31
6.5. Zhodnocení jednotlivých kritérií.....	33
6.6. Porovnávání párů kritérií.....	34
6.7. Výpočet celkových indexů variant.....	35
6.8. Vyhodnocení hodnotové analýzy	36
6.9. Závěr analýzy	37
Optimální varianta	37

7.	Výpočtová část	39
7.1.	Výpočet maximálních zrychlení robotu	39
7.2.	Výpočet velikosti sil působících na přísavku při pohybu	41
7.2.1.	Zakreslení působících sil na přísavku	41
7.2.2.	Výpočet potřebné síly na jednu přísavku dle katalogu výrobce	44
7.2.3.	Volba přísavek z katalogu výrobce	45
7.2.4.	Výpočet maximální síly působící na jedno rameno	46
7.2.5.	Výpočet ukazatele kvality konstrukce [18/str. 147]	47
8.	Kontrolní analýza efektoru	48
8.1.	Pevnostní analýza	48
8.2.	Vlastnosti materiálu efektoru	48
8.3.	Výsledky analýzy	48
8.3.1.	Analýza největšího průhybu ramene při maximálním zatížení	48
8.3.2.	Analýza místo s největší koncentrací napětí	49
9.	Výběr jednotlivých pneumatických prvků	50
9.1.	Přísavky	50
9.2.	Držák přísavky	50
9.3.	Hadice	51
9.4.	Rozbočovač	52
10.	Parametry efektoru	53
11.	Cenová kalkulace pro navržený efektor	54
12.	ZÁVĚR	55
13.	Seznam použité literatury a elektronických podkladů	56
14.	Seznam příloh	59

Seznam použitého značení

Značka	Význam	Jednotky
a	Zrychlení	$[m.s^{-2}]$
a_h	Horizontální zrychlení	$[m.s^{-2}]$
a_v	Vertikální zrychlení	$[m.s^{-2}]$
c_0	Součinitel odporu vzduchu	-
CR	Centrum robotiky	-
F_a	Síla vyvolaná zrychlením	[N]
F_A	Síla působící na jednu přísavku	[N]
F_g	Gravitační síla	[N]
F_H	Celková zatěžující síla	[N]
F_{OZ}	Síla odporu vzduchu	[N]
F_S	Smyková síla	[N]
F_V	Výsledná zatěžující síla	[N]
F_{V1}	Síla zatěžující jednu přísavku	[N]
F_Y	Síla ve směru osy Y	[N]
g	Gravitační zrychlení	$[m.s^{-2}]$
Interface	Připojovací příruba	-
IRB 360 FlexPicker	Typové označení robotu	-
m	Hmotnost	[kg]
n	počet přísavek	-
OM	Objekt manipulace	-
t	Čas	[s]
t_c	Celkový čas cyklu	[s]
S	Bezpečnost	-
S_p	Plocha OM	$[m^2]$
s	Dráha	[m]
v_∞	Náporová rychlost	$[m.s^{-1}]$
v	Rychlost	$[m.s^{-1}]$
ρ_0	Hustota	[kg]
μ	Třecí koeficient	-

1. ÚVOD

V dnešním vysoce rozvinutém průmyslu se neustále zvyšují nároky koncových uživatelů na kvalitu výrobků spolu s jejich nízkou pořizovací cenou. Ve výrobní sféře je stále největší podíl lidské pracovní síly. Jenomže lidé nejsou stroje a při neustále se opakující činnosti ztrácejí zájem a jsou náchylnější k tvorbě chyb. Navíc dnešní náročné výrobní technologie bývají pro člověka často zdraví škodlivé a jsou hodně závislé na dodržování přesnosti a udržení stále kvality.

Z těchto všech důvodů začíná čím dál více firem zavádět na svých pracovištích automatizované linky, nebo RTP. Ty se mohou skládat z jednoho až stovek spolupracujících průmyslových robotů. Výkonným subsystém těchto robotů je efektor. Ty provádějí manipulaci, nebo vykonávají nejrůznější technologie jako je svařování, stříkání, pájení.

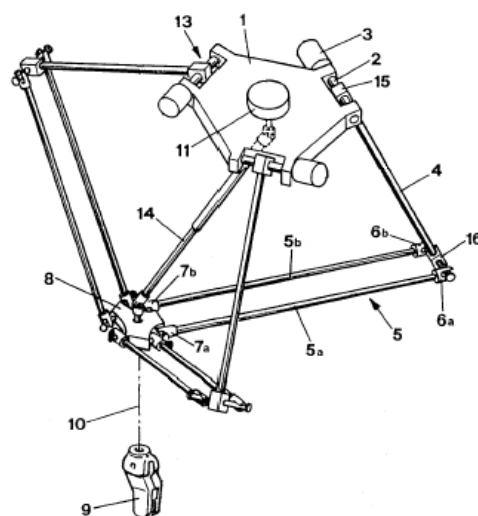
Tato práce se zabývá konstrukčním návrhem více přísavkového efektoru pro paralelní robot ABB IRB 360 FlexPicker. Tento robot se nachází na Centru robotiky, kde slouží k výukovým a prezentačním účelům katedry. V průmyslu jej najdeme nejčastěji v potravinářském a masném odvětví, jelikož jeho konstrukce a krytí splňuje náročné podmínky pro kontakt s potravinami. Robot FlexPicker vyniká vysokou dynamikou při dodržení dobré přesnosti. Robot má nosnost 3 kilogramů což klade důraz na hmotnost efektoru, která zásadně ovlivní možnou hmotnost OM. Zároveň však musí být i dostatečně tuhý, aby nedocházelo k nechtěným deformacím. Ve své práci se budu snažit všechny tyto parametry rozumně sjednotit.

2. Roboty s paralelní strukturou

Tato kapitola popisuje současný stav robotů využívajících paralelní strukturu. Nachází se zde výčet vybraných výrobců těchto robotů se zaměřením na firmu ABB. V závěru jsou pak uvedeny ukázky paralelních struktur používaných v průmyslové automatizaci.

2.1. Delta struktury

Názvem delta robot je označen robot s paralelní strukturou. Jedná se o to uzavřený kinematický řetězec, jehož koncový člen označován jako platforma je se základnou spojen pomocí minimálně dvou obvykle však tří, nebo čtyř ramen. Tím je zaručena dostatečná tuhost celé výsledné soustavy. Tyto roboty nevynikají extrémně vysokou nosností (ABB max. 8 kg), ale svou vysokou dynamikou. Ta nám zaručuje rychlý pracovní cyklus. Časté je spojení s kamerovým systémem pro detekci OM, který jede po dopravníkovém pásu. S první myšlenkou paralelní struktury přišel Reymond Clavel v osmdesátých letech.[5] [18]



Obr. 1. Struktura Reymonda Clavela [20]

2.2. Použití delta struktur

Využití delta robotů v průmyslové automatizaci je velice široké. Většina těchto robotů disponuje vhodným krytím vyhovujícím hygienickým požadavkům pro kontakt s potravinami, léky a podobně. Jejich velkou předností je vysoké zrychlení, které jim umožňuje typ jejich konstrukce. Využívají se tedy v aplikacích kde je potřeba velice rychlá a přesná manipulace například mezi dvojicí dopravníkových pásů.

Mezi další významné výrobce delta robotů patří kromě společnosti ABB také firmy Kawasaki, Fanuc, Omron, Codian.

Na obrázcích 2 až 5 najdeme různé aplikaci robotů s paralelní strukturou v průmyslu.



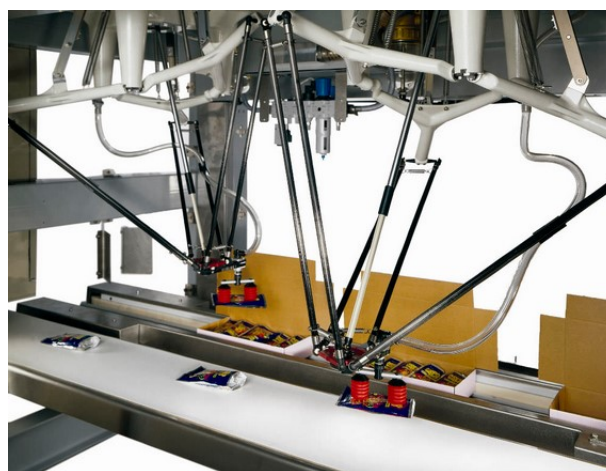
Obr. 2. Roboty Fanuc [21]



Obr. 3. Kawasaki delta robot [22]



Obr. 4. Robot Codian [23]



Obr. 5. Balení produktů delta roboty [24]

2.3. Základní informace o robotu

ABB IRB 360 je pokračovatel známého systému FlexPicker IRB 340. Tyto roboty se od uvedení na trh propracovaly až na vedoucí postavení v oboru nejmodernějších technologií pro odebrání a balení předmětů. Robot IRB 360 FlexPicker dnes nachází uplatnění ve většině oblastí výroby, balení, manipulace a montáže. Jeho pracovní cyklus „pick and place“ neboli seber a umístí, při takovýchto operacích dosahuje vynikajících výsledků.



Obr. 6. Robot ABB IRB 360 [5]

Rodina IRB 360 nyní obsahuje varianty s užitečným zatížením 1 kg, 3 kg, 6 kg a 8 kg s pracovním dosahem od 800 mm, až po 1 600 mm. Proto má tento robot IRB 360 velké možnosti využití. Vlivem rozšíření rodiny o robot s nosností 8 kg dostal robot schopnost přenášet těžší předměty, nebo využívat těžší sofistikovanější chapadla k manipulaci s různými výrobky. Každý FlexPicker má rovněž k dispozici přepracovanou nástrojovou přírubu, která umožňuje použít větší chapadla, a tak dosáhnout vysokých rychlostí při účinné manipulaci s průběžně balenými výrobky z dělicího pásu. [1] [2]

Díky vynikajícímu řízení pohybu, krátkým časům cyklu a vysoké přesnosti může IRB 360 pracovat vysokou rychlostí v úzkých nebo širokých prostorech, a to s velmi malými tolerancemi. Pro řízení robotů FlexPicker se využívá software PickMaster. Ten byl vyvinut firmou ABB. Umožňuje modelování aplikací a napomáhá optimalizaci u instalací s větším počtem robotů. [1] [2]

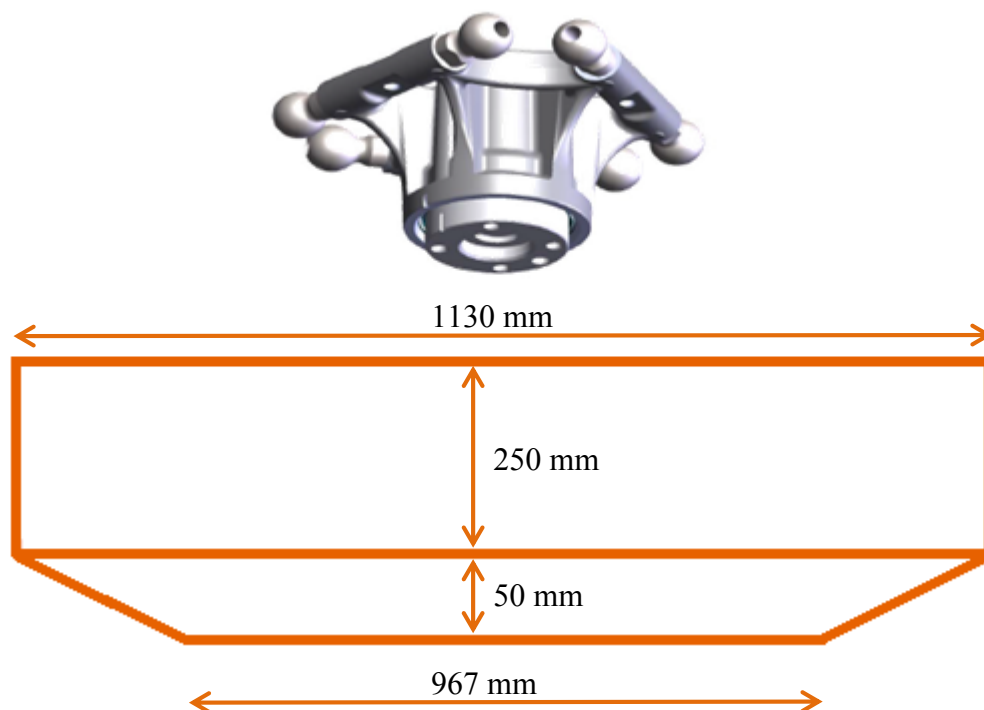
FlexPicker je příkladem robotu, který byl designován s ohledem na hygienické požadavky pro použití v potravinářství při manipulaci s potravinami, například masem, mlékárenskými výrobky, hotovými jídly. IRB 360 je testován a certifikován organizací IPA pro třídu Clean Room. K dispozici jsou krytí IP56, IP67, IP69K to umožňuje čištění běžnými průmyslovými metodami. K dispozici je i nerezová omyvatelná verze. [2]

2.4. Základní verze robotu

Verze robota	Nosnost	Pracovní dosah / průměr	Ochrana
IRB 360-1/800	1 kg	800 mm	Standardní Omyvatelné
IRB 360-1/1130	1 kg	1130 mm	Standardní Omyvatelné Nerezové
IRB 360-3/1130	3 kg	1130 mm	Omyvatelné Nerezové
IRB 360-1/1600	1 kg	1600 mm	V závislosti na kombinaci robotu
IRB 360-6/1600	6 kg	1600 mm	Třídy ochrany IP56, IP67 nebo P69K.
IRB 360-8/1130	8 kg	1130 mm	Třídy ochrany IP 56, IP 67 nebo IP 69K.

Tab. 1. Seznam základních verzí robotu [8]

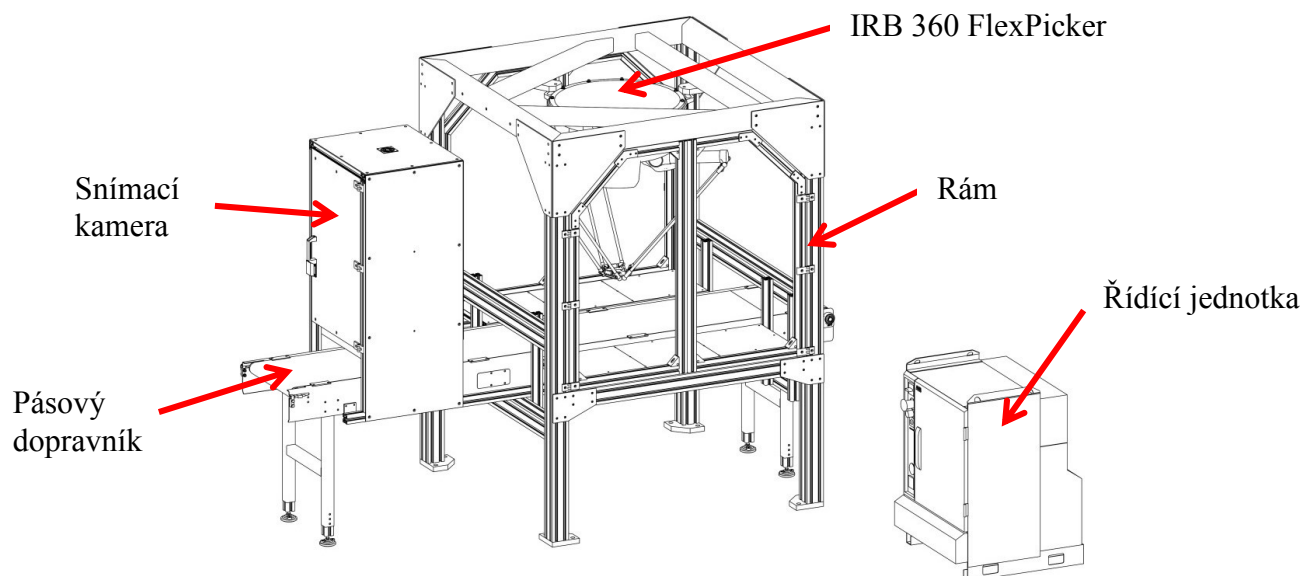
Na obrázku 7 je vidět velikost pracovního prostoru robotu situovaného na centu robotiky pod označením ABB IRB 360-3/1130. Velikost tohoto prostoru se v rodině IRB odlišuje podle nosnosti robotu.



Obr. 7. Pracovní rozsah robotu [9]

2.5. Pracoviště na centru robotiky

Na centru robotiky se nachází pracoviště s výše popsáním robotem, které má toto rozmístění:



Obr. 8. Pohled na pracoviště robotu [6]

3. Princip přísavek

Přísavky využívají podtlaku plynů, nebo tekutin pro přilnutí k povrchům. Tlak vzduchu na vnější straně přísavky je větší než pod přísavkou, čímž je přísavka přitlačována k pracovní ploše. První verze přísavek byly patentovány již v roce 1866 v USA. [3]

3.1. Rozdělení přísavek dle principu vytvoření vakua

3.1.1. Pasivní přísavka bez ovládání

Jedná se o nejjednodušší typ přísavky. Vzduch je z prostoru pod přísavkou vytlačen pouhým přitlačením přísavky k povrchu. Doba, po kterou se přísavka udrží na objektu, je ovlivněna pórovitostí a rovinností jeho povrchu. Tuto dobu tedy nelze nijak ovlivnit. Značnou nevýhodou použití těchto přísavek je možnost odtržení hrubou silou. Tyto přísavky mohou mít v průměru od jednotek až po desítky milimetrů.

Jsou používány například v akvaristice, pro uchycení drobných (lehkých) předmětů v kuchyni, nebo například v autě.



Obr. 9. Pasivní přísavka bez ovládání [11]

3.1.2. Pasivní přísavka s ovládáním

Tyto přísavky jsou nejdříve přiloženy k povrchu a následně se pomocí ovládací páky provede její přisátí odtažením středu přísavky od pracovního povrchu. Díky tomuto principu lze dosáhnout větší přídržné síly. Avšak doba, po kterou se přísavka udrží je stále ovlivněna pórovitostí a rovinností povrchu. Výhodou je možnost odstranit přísavku pouhým uvolněním ovládací páky. Velikost přísavek využívajících tento princip se pohybuje od desítek až po stovky milimetrů v průměru.

Hojně se využívají ve sklářském průmyslu pro manipulaci s tabulemi skla, nebo pro uchycení GPS navigace v automobilu.

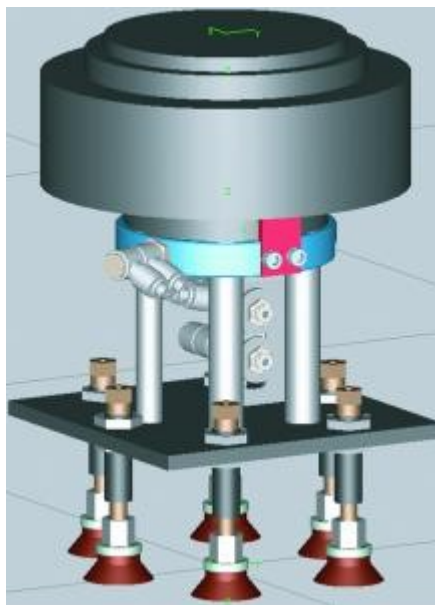


Obr. 10. Pasivní přísavka s ovládáním [12]

3.1.3. Aktivní přísavka

Tento druh přísavky se od ostatních liší tím, že primárně vakuum nevytváří, ale naopak je do ní vakuum přiváděno z nějakého externího zdroje. V průmyslové automatizaci se nejčastěji mezi tyto zdroje řadí vývěvy a ejektory. Přísavný vzduch je z prostoru pod přísavkou průběžně odsáván. Proto doba přichycení k danému objektu je prakticky limitována pouze činností zdroje vakua. Výhodou tohoto principu je, že uvolnění od povrchu lze snadno provést odpojením zdroje vakua.

Nevýhodou však je závislost na dodávkách energií právě do zdroje vakua, protože při výpadku dodávek dojde k odpadnutí objektu, který je přísavkami držen a může dojít k poškození tohoto objektu nebo dalších zařízení. Tento typ přísavky je široce rozšířený v průmyslu jako úchopný efektor robotů, ale i součást nejrůznějších výrobních a manipulačních strojů.



Obr. 11. Aktivní přísavka [13]

3.2. Rozdělení přísavek dle tvaru a účelu použití

Přísavek používaných v průmyslu pro uchopení a manipulaci s objekty existuje nepřeberné množství. Liší se svým tvarem, velikostí, materiálem a systémem uchycení přísavek. K přísavkám je také potřeba další příslušenství. Například držáky přísavek, nástrčná šroubení, hadice, těsnění, rozbočovače, filtry, vakuometry, nebo třeba vyrovnávací prvky.



Obr. 12. Ukázka různých tvarů přísavek [14]

Základní typy přísavek:**PLOCHÁ** přísavka

Jedná se o standardní typ přísavky. Jsou vhodné pro ploché a mírně zvlněné povrchy například plechy, nebo kartony. Patří zde i přísavka s opěrnými žebry. Ty zvyšují tuhost přísavky.



Obr. 13. Plocha přísavka [15]

OVÁLVÁ přísavka

Jsou vhodné k použití při manipulaci s dlouhými a úzkými objekty, například s trubkami a profily.



Obr. 14. Oválná přísavka [15]

HLUBOKÁ přísavka

Hodí se pro hodně zvlněné povrchy a předměty se zaoblenými tvary. Dokáže dobře přilnout k těmto typům povrchů.



Obr. 15. Hluboká přísavka [15]

Přísavka s MĚCHEM

Používají se pro svou schopnost přizpůsobit se nerovnostem a menším výškovým rozdílům manipulovaného objektu. Jejich výška se dá také upravit vhodným zvolením násobku výšky měchu. Od 1,5 do 3 násobku měchu. Nemají však příliš velkou boční tuhost a tudíž se nehodí pro ukládání objektu na přesnou pozici.



Obr. 16. Přísavka s měchem [15]

3.3. Materiál přísavek

Volba typu materiálu je nedílná součást celého návrhu přísavek pro danou aplikaci. Materiál může ovlivnit koeficient tření mezi přísavkou a objektem a zvýšit tak nároky na potřebnou sílu, která objekt drží. Například při použití přísavek v potravinářském průmyslu se musí volit materiály vhodné pro tuto oblast například silikon. Mezi další materiály patří:

NBR – nitrilbutadienový kaučuk, **SU** – polyuretan, **SF** – fluorkaučuk, **SN** – perbutan
SNA – antistaticky perbutan.

3.4. Návrhové výpočty přísavek

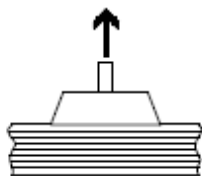
Každý výrobce má svůj návrhový výpočet potřebného průměru přísavek pro danou aplikaci. Ten vychází z jeho zkušeností. Před samotným výpočtem je však potřeba stanovit podmínky, za kterých bude přísavka pracovat a jak bude vypadat povrch objektu, na který se přísavka uchytí. Daný objekt může mít například mastný, drsný, různě zakřivený povrch, nebo se na povrchu mohou nacházet částechy materiálu a spoustu dalších omezení.

Mezi hlavní kritéria se řadí hmotnost objektu, se kterým je potřeba manipulovat a maximální zrychlení, se kterým je objekt nadzvedávat. Velikost těchto dvou hodnot má spolu s orientací objektu při daném pohybu zásadní vliv na průměr přísavky. Příklad, který názorně ukazuje, jak tyto hodnoty ovlivňují velikost sil a tím i potřebný průměr přísavky je na obrázku 8/str.19. Z vypočtených sil je zcela jasné, která orientace objektu je nejhorší a také nejlepší.

Popis obrázku:

- **Case 1** – přísavka je v horizontální pozici a pohyb je čistě vertikální – **nejlepší** případ
- **Case 2** – přísavka je v horizontální pozici a pohyb je také horizontální
- **Case 3** – přísavka je ve vertikální pozici a pohyb je také vertikální – **nejhorší** případ
- **S** – bezpečnost, **m** – hmotnost OM, **g** – gravitační zrychlení, **a** – zrychlení robotu

Case 1



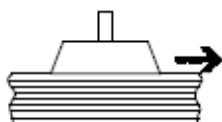
$$F_H = m \times (g + a) \times S$$

Example:

$$F_H = 0.314 \text{ kg} \times (9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} + 5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}) \times 1.5$$

$$F_H \approx 7 \text{ N}$$

Case 2



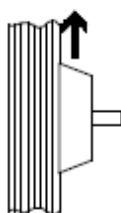
$$F_H = m \times (g + \frac{a}{\mu}) \times S$$

Example:

$$F_H = 0.314 \text{ kg} \times (9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} + \frac{5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}{0.1}) \times 1.5$$

$$F_H \approx 28 \text{ N}$$

Case 3



$$F_H = (\frac{m}{\mu}) \times (g + a) \times S$$

Example:

$$F_H = (\frac{0.314 \text{ kg}}{0.1}) \times (9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} + 5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}) \times 2$$

$$F_H \approx 93 \text{ N}$$

Obr. 17. Příklad velikosti působících sil při různých pohybech [7]

3.5. Stavebnicové přípravky

Jako příklad stavebnicových přípravků byla vybrána firma EXACTEC – DESTACO. Firma Destaco vyrábí čtyři typy modulových stavebnic přípravků plus mnoho dalších vakuových produktů (přísavky, šroubení, vývěvy pro podtlakové aplikace a další...). Pro tuto úlohu byla hledána i alternativa v podobě jednoduché stavebnice. Ta by mohla ulehčit práci, ale za cenu jistých slev z požadavků. Níže jsou vypsány různé typy stavebnic od firmy Destaco. Pro danou aplikaci však nebyla nalezena vhodná stavebnice, která by splňovala všechny body z požadavkového listu.

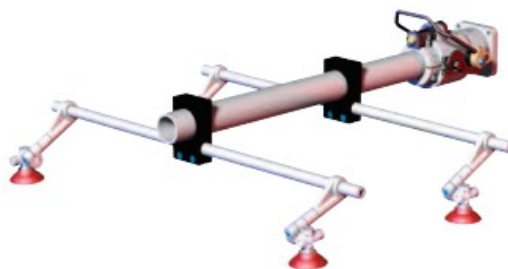
Druhy stavebnic:

Round Tooling je jednoduchá a levná stavebnice, která umožňuje tvorbu trubkových efektorů pro roboty a manipulátory. Nosné trubky o \varnothing 60, 40 a 25 mm i všechny spojovací komponenty jsou vyrobeny z hliníkové slitiny, takže i poměrně velké efektor mají malou hmotnost. Sestavy je možné tvořit i bez předchozí CAD přípravy, jen na základě vzorku dílu. [4]

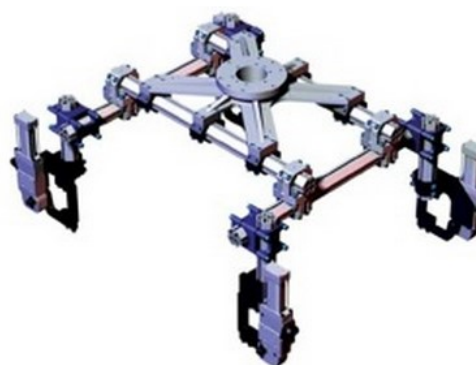
Lightweight Tooling je moderní stavebnice efektoru a různých provozních přípravků. Aby se především v robotických aplikacích co nejvíce redukovala hmotnost nástroje a jeho setrvačné hmoty, vyniká tento systém mimořádně lehkou konstrukcí všech svých komponent. Nosné trubky mají $\varnothing 40$ mm, ramena $\varnothing 25$ mm a stejně jako všechny ostatní díly jsou vyrobeny z pevné slitiny hliníku 7075-T6. Celá stavebnice je velmi jednoduchá. Efektory lze zakončit přísavkami, nebo čelistmi různých výrobců. Stavebnice Lightweight Tooling má certifikaci pro použití v automobilech, např. VW, BMW a jiných. [4]

Bodybuilder je stavebnicový systém založený na osmistěnných hliníkových profilech o velikosti 90, 60, 45 a 30 mm a rozsáhlé databázi držáku, nosníku, přechodových svorek, robotických přírub a dalších prvků, pomocí nichž je možné sestavit jak komplexní efektory, tak i různé polohovací přípravky, odkládací stojany apod. Pro uchopování dílu jsou připraveny adaptéry pro upínky, přísavky, tool-changery a další funkční prvky. [4]

SpiderGrip je modulární, přehledný a velmi přesný systém stavebních prvků. Pro spojení prvku se používá patentovaný způsob, kombinující jednoznačné polohování křížovými pery s pevným stažením kuželovými objímkami, takže sestavy mají geometrickou přesnost a značnou tuhost. SpiderGrip stavebnice se výborně hodí jak pro konstrukci efektoru, tak složitých polohovacích a upínacích přípravků. Všechny díly stavebnice jsou jednoduše rozebíratelné a lze je použít opakovaně pro různé další projekty. [4]



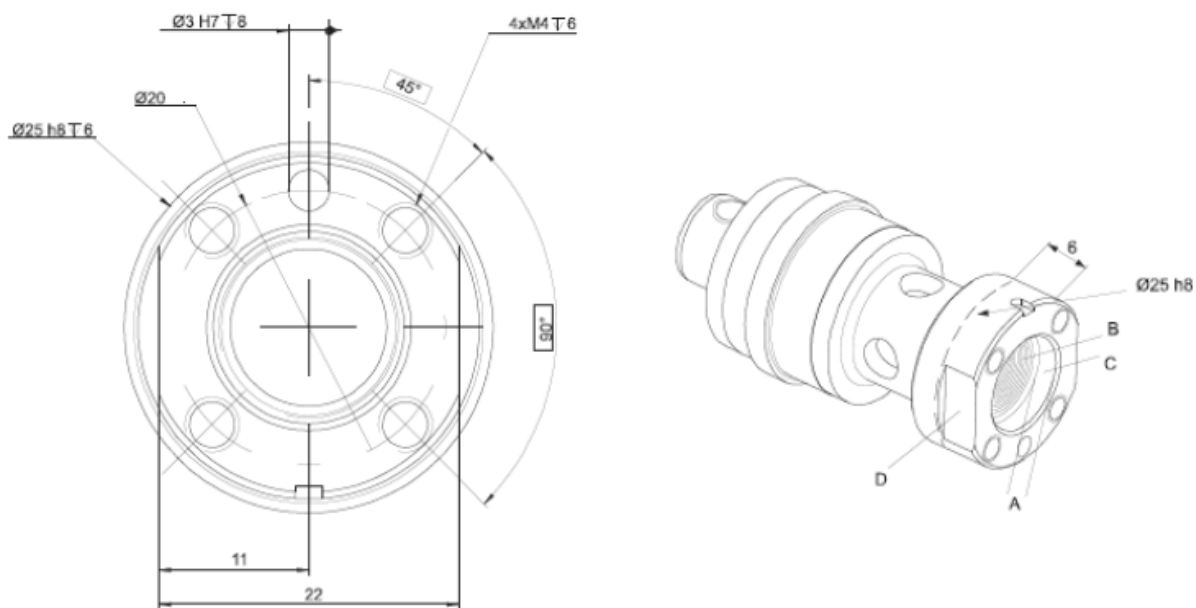
Obr. 18 Ukázka stavebnice Round Tooling [4]



Obr. 19 Ukázka stavebnice Bodybuilder [4]

4. POŽADAVKOVÝ LIST

Počet přísavek:	3 – 5 dle aktuální potřeby (možnost manuálního odebrání či přidání potřebných přísavek)
Teplota média a okolí:	10°C – 40°C
Hmotnost efektoru:	Co nejmenší (vzhledem k nosnosti robotu, která je 3 kg)
Vlastnosti OM:	Povrch hladký, rovný, nezamaštěný, suchý, bez nečistot, nepórovitý, bez šikmých hran
Cena:	Minimalizovat (Maximálně 18 500 Kč)
Prostředí:	Výukové pracoviště s robotem ABB IRB 360 na CR
Pohon efektoru:	Pneumatický
Provozní podtlak:	0,7 bar
Maximální půdorysné rozměry OM:	300 x 300 mm
Připojovací člen robotu (Interface):	

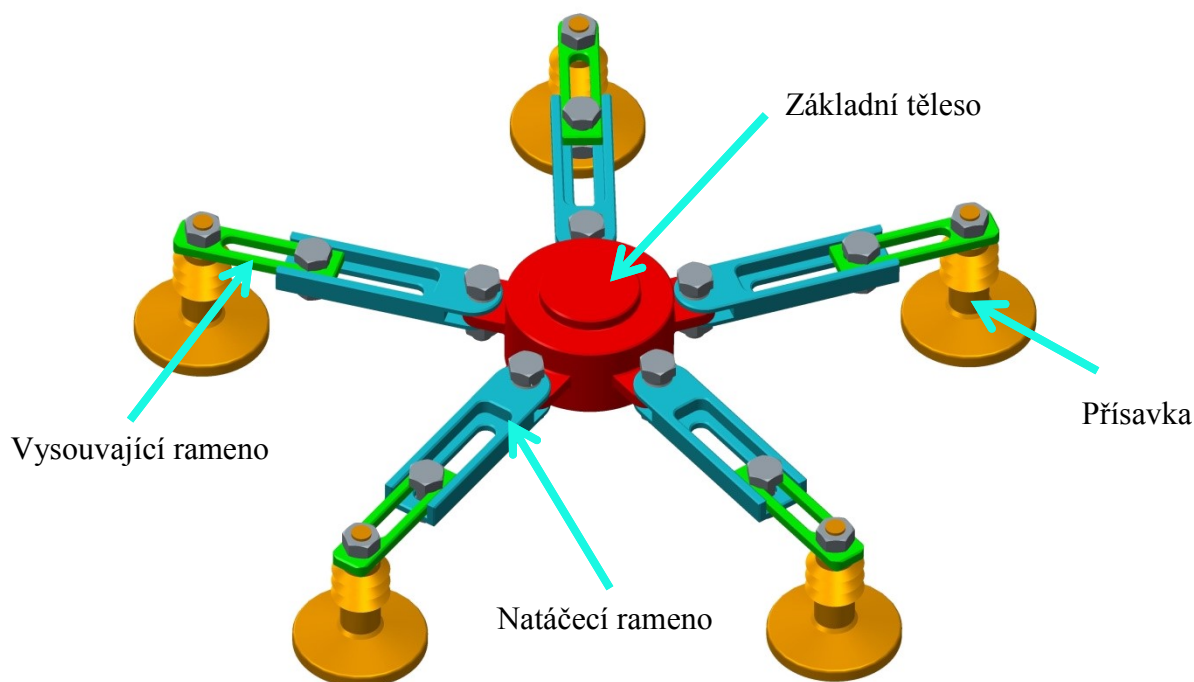


Obr. 20. Připojovací člen robotu [16]

5. Varianty řešení

Byly navrženy čtyři různé varianty řešení. Všechny varianty se od sebe konstrukčně zásadně liší. Věc, kterou však mají společnou je interface pro připojení k robotu a použitý typ přísavky. U všech variant se předpokládá, že budou vyrobeny z hliníku, kvůli úspoře hmotnosti. Tudíž bude možno přesouvat těžší OM.

5.1. Varianta A



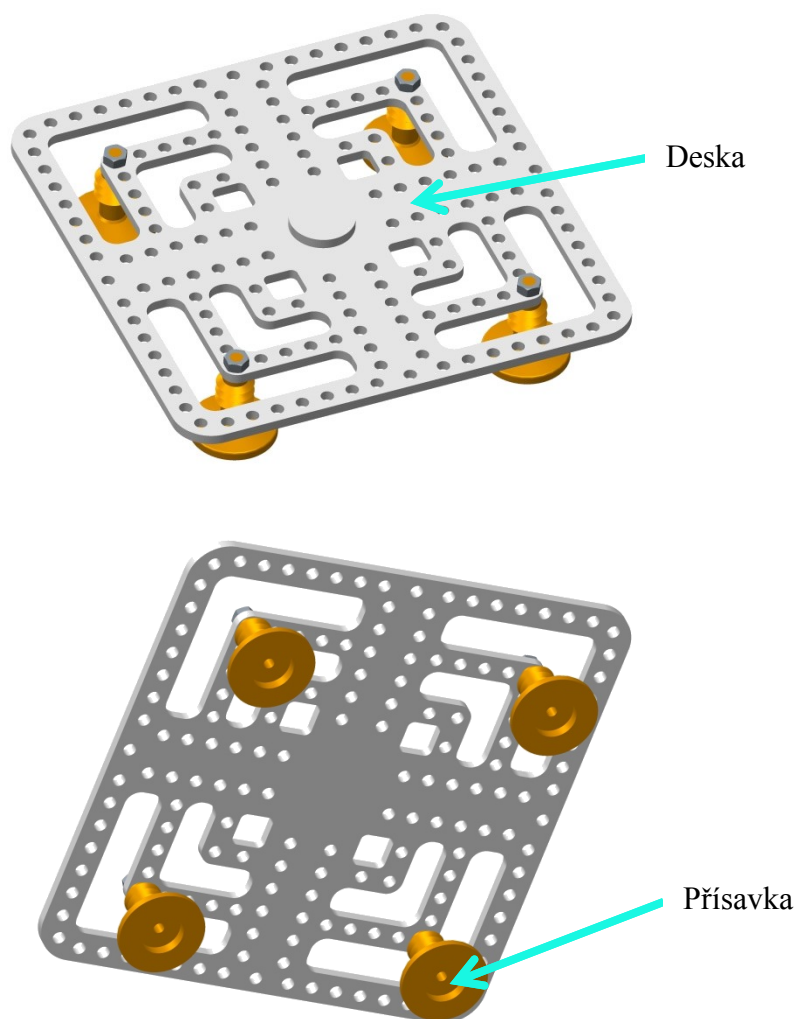
Obr. 21. Varianta A

První navržená varianta se skládá ze základního tělesa, na které postupně upevníme všech pět natáčecích ramen (modré díly). Budou spojeny se základním tělesem pomocí pěti šroubů s maticemi a podložkami k zabránění poškození povrchu materiálu při větším počtu povolování a dotahování matic. Do nich se usadí vysouvající se ramena (zelené díly). Na konci každého z nich je pak jedna přísavka. Ta bude připevněna pomocí držáku přísavky s bočním připojením hadice od rozbočovače a horním připojením k rameni. Tím bude možno případnou výšku přísavky částečně upravit, tak aby perfektně dosedla na plochu OM, například pokud nebude povrch OM zcela rovný. Celkem tedy efektor může nést až 5 přísavek.

Základní těleso bude mít v horní části připravený interface pro spojení s robotem IRB 360 dle požadavkového listu. Od ejektoru u základny robotu je vedena hadice k platformě robotu. Tam bude napojen rozbočovač, do kterého budou napojeny hadice od přísavek. Základní díl je dutý. Materiál byl odebrán kvůli snížení jeho hmotnosti. Mezi základní těleso a rameno bude možno přidat gumové podložky, nebo vytvořit jisté vroubkování pro ještě lepší zajištění polohy při natočení ramene. Aby nedocházelo k samovolnému uvolnění spojení a následného pootočení ramene.

Tento efektor by měl být co nejvíce univerzální, proto ramena umožňují pootočení o 45° na obě strany. Dále je pak možné libovolně vysouvat a zasouvat ramena do sebe, dle aktuální potřeby. Hodnoty výsuvu a složení budou zapsány ve výkrese sestavy. K zajištění polohy po vysunutí bude sloužit jeden šroub, tak aby nemohlo dojít k samovolnému vysunutí ramene. Konkrétní typ přísavek s držákem, který bude použit je popsán na str. 45.

5.2. Varianta B



Obr. 22. Varianta B

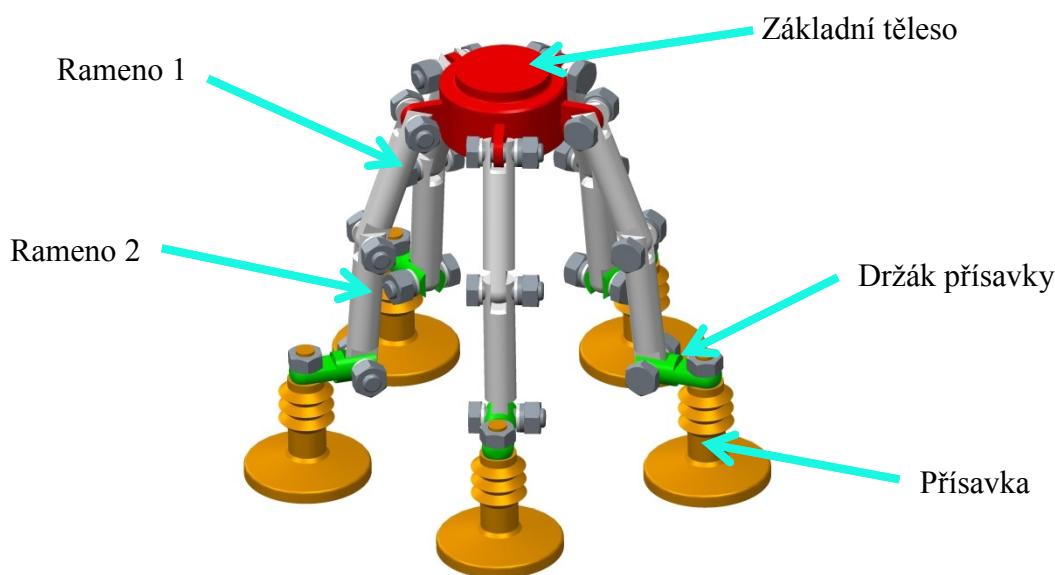
Druhá navržená varianta se skládá pouze z jednoho dílu, na který se postupně upevní všechny potřebné přísavky. Celkem tedy efektor může nést tolik přísavek, kolik bude zrovna potřeba.

Pro uchycení efektoru k robotu bude v horní části základní dílu připravený interface pro spojení s robotem IRB 360 dle požadavkového listu. Hadice od ejektoru robotu bude přivedena do rozbočovače a z něj povedou hadičky k jednotlivým přísavkám. Připojení jednotlivých přísavek k rozbočovači bude pomocí klasických pneumatických hadiček. Hadičky musí být dostatečně dlouhé k zajištění volného pohybu přísavek po celé desce.

Rozměry desky a uspořádání otvorů pro přísavky se mohou snadno upravit pro danou situaci. Na výběr je mnoho různých variant, jaký tvar bude deska mít a kde budou rozmístěny otvory pro přísavky. Větší otvory jsou zde z důvodu snížení hmotnosti. Hmotnost se také dá ještě upravit volbou jiného materiálu než oceli, například hliníku.

Nevýhodou této varianty je poměrně náročná a zdlouhavá výroba. Dále pokud by měl OM poměrně malé rozměry, robot by byl zbytečně zatížen nevyužitou hmotou efektoru, se kterou by musel manipulovat. To by mělo za následek omezení možné hmotnosti OM, což je docela značná nevýhoda. Navíc je potřeba hlídat prostor, ve kterém se bude efektor pohybovat z důvodu možné kolize ať už s OM, nebo třeba s ochranným plexisklem kvůli rozměrům a tvaru efektoru.

5.3. Varianta C



Obr. 23. Varianta C

Třetí navržený efektor lze s trochu nadsázky přirovnat k jakémusi pavoukovi. Díky této konstrukci má oproti ostatním variantám jisté nezanedbatelné výhody, ale také pár nevýhod. Jedno celé rameno této třetí varianty je složeno ze tří natáčecích dílů, což umožňuje dobrou adaptaci na OM.

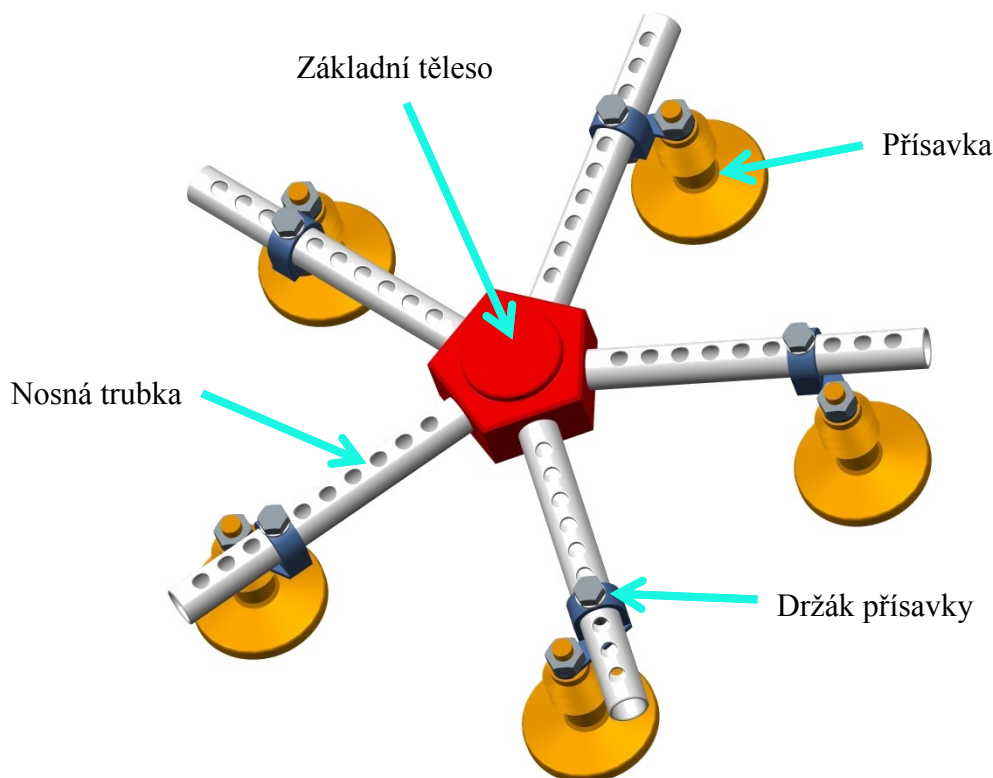
K uchycení efektoru na robot bude na horní straně základního tělesa připraven interface dle požadavkového listu. Pět prvních ramen bude k základnímu tělesu připevněno pomocí pěti čepů a matic. Pro zabránění případnému samovolnému pootočení budou pod maticemi pružné podložky. Po povolení sevření šroubu lze s rameny natáčet nahoru a dolů o 190° . Nedají se však natáčet do stran. Což znamená jisté omezení použití pro některé tvary OM. Na konci prvního ramene je připraveno oko, do kterého přijde protikus druhého ramene. Spojení se zajistí pomocí šroubů. Druhé rameno lze taktéž natáčet nahoru a dolů až do té míry než jej omezí hrana ramene. Posledním dílem je držák přísavky. S ním lze také samozřejmě otáčet, dokud nedojde ke kontaktu hran obou součástí. V tomto držáku je pak uchycena přísavka.

Ramena jedna a dvě jsou identická. Polotovarem bude tyčový materiál, který se pro úsporu hmotnosti osově odvrátá pro úsporu hmotnosti. Oba konce těchto ramen budou obrobena frézováním do podoby znázorněné na obrázku 16. Výroba a montáž jednotlivých dílů efektoru bude dosti náročná, co se týče dodržení přesnosti.

Jako výhodu této konstrukce vidím, použití na OM, které nemají konstantní výšku. To znamená, že pokud bude OM stupňovitý, může se efektor lehce přizpůsobit tvaru povrchu. A také, že vhodným natočením jednotlivých ramen efektoru se můžeme dostat i z části pod základní těleso. Jednotlivé přísavky se dají jednoduše odebrat a zpátky připevnit dle potřeby. Přesný minimální a maximální rozsah efektoru není určen. Další výhodou je i malá hmotnost celé konstrukce efektoru.

Připojení jednotlivých přísavek ke zdroji vakua by bylo provedeno pomocí malých spirálovitých hadiček, které umožní volný pohyb přísavek při přeuspořádání efektoru na jiný OM bez rizika, že se hadička přetrhne.

5.4. Varianta D



Obr. 24. Varianta D

Čtvrtá a zároveň poslední navržená varianta je složena ze 4 částí. Opět je zde základní těleso, které jako i u ostatních variant nese veškerou hmotnost efektoru a OM. Avšak liší se od všech ostatních svým tvarem. Ten jsem zvolil z důvodu snadnější montáže nosných trubek. Ty budou k základnímu tělesu buďto přivařeny, nebo je zde i možnost upravit základní těleso tak, že by byly trubky uchyceny k základnímu tělesu pomocí šroubů. Kdy by se na jedné straně vložila matice do vnitřního průměru trubky a obvařila se po obvodu. V základním tělese se připraví otvor pro šroub. Následně se trubka přiloží z vnější strany základny a zevnitř se přitáhne šroubem. Nepotřebná ramena by se tak daly v případě potřeby jednoduše demontovat.

Na horní straně základního tělesa bude opět interface pro spojení s robotem IRB 360 dle požadavkového listu. Na základním tělese bude přivařeno 5 trubek, které jsou opatřeny otvory pro šrouby. Ty zajistí, že držák s přísavkou bude držen v nehybné poloze. Na trubce je vyvrtáno celkem 10 otvorů tak, aby bylo zajištěno univerzální nastavení potřebné vzdálenosti dle OM. Rozmístění, počet a jednotlivé vzdálenosti otvorů pro držáky přísavek lze při výrobě upravit dle požadavku.

Nevýhodou je zde opět absence natáčení jednotlivých trubek díky jejich pevnému spojení se základním tělesem. Také je zde dána minimální velikost OM a to kvůli samotné konstrukci efektoru, jelikož první otvor pro šroub ve směru od základního tělesa má danou vzdálenost od těch na ostatních trubkách. Blíže se nelze dostat. Toto omezení nenastane u varianty C, kdy se lze s rameny dostat až pod efektor. Další nevýhodou je v případě přivaření trubek k základnímu tělesu zabránění možnosti odebrání trubek v případě, kdy budeme používat méně přísavek. Robot bude nucen opět manipulovat s nevyužitou částí.

6. Výběr optimální varianty

Pro zvolení optimální varianty jsem použil hodnotovou analýzu. Podle porovnávání kritérií, vybraných z požadavkového listu a následným přiřazením důležitosti a váhy jednotlivým kritériím, vyjdou po součtu vážených indexů každé varianty sumy bodů k porovnání. Varianta, která získá největší počet bodů, je označena za optimální.

- K porovnání mám 4 navržené varianty řešení.

6.1. Ohodnocení jednotlivých kritérií

Vysoká úroveň	5 bodů
Dobrá úroveň	4 bodů
Průměrná úroveň	3 bodů
Nízká úroveň	2 bodů
Nevyhovující úroveň	1 bodů
Nepříznivý stav	0 bodů

Tab. 2. Ohodnocení jednotlivých kritérií

6.2. Kritéria

Kritérium	Druh kritéria
K1	Hmotnost
K2	Cena
K3	Rychlost adaptace na OM
K4	Využití plochy efektoru
K5	Spolehlivost konstrukce

Tab. 3. Druhy kritérií

6.3. Popis jednotlivých kritérií

K1 – Hmotnost

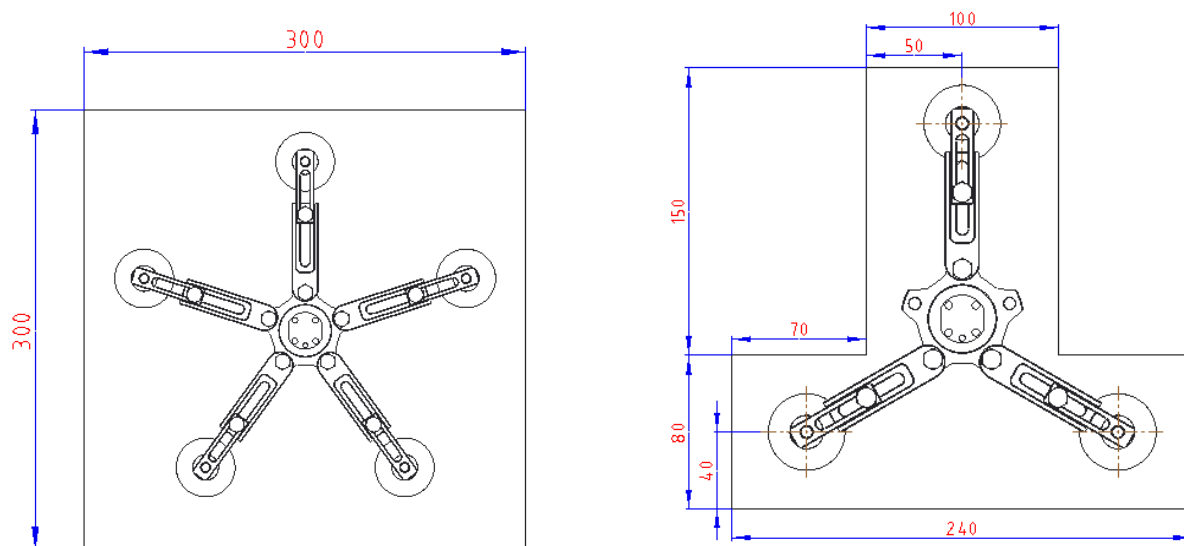
- hmotnost efektoru ovlivňuje možnou hmotnost OM vzhledem k nosnosti robotu 3 kg,
- uvedené hmotnosti jsou pro součásti vyrobené z hliníku.

K2 – Cena

- je to odhadovaná cena za potřebný materiál společně s náklady na výrobu pro všechny vyráběné součásti efektoru,
- cena by měla být co nejmenší.

K3 – Rychlost adaptace na OM

- odhadovaný čas potřebný k přestavení efektoru při změně tvaru OM a to z 5 přísavek na 3. Tvary OM, na které se efektor adaptoval, jsou nakresleny na obr. 25:



Obr. 25. Tvary OM pro adaptaci

K4 – Využití plochy efektoru

- posuzuje se jak velká část efektoru je aktivně využita. V případě nejmenšího dovoleného OM může u některých variant nevyužitá část efektoru zasahovat do pracovního prostoru robotu. Tento přesahující materiál bude působit jako zátěž navíc.

K5 – Spolehlivost konstrukce

- zvažují se možné problémy s konstrukcí, které mohou při provozu nastat.

6.4. Hodnoty kritérií

K1 – Hmotnost:

- předpokládá se, že všechny součásti budou vyrobeny z hliníku
- hmotnost je odečtena z programu Creo Parametric 2.0

Varianta A: 0,22 [kg]

Varianta B: 0,456 [kg]

Varianta C: 0,159 [kg]

Varianta D: 0,457 [kg]

K2 – Cena:

- odhadované náklady na potřebný materiál spolu s náklady na výrobu, bez na kupovaných a normalizovaných součástí

Varianta A:

Odhadované náklady na materiál: 2100 Kč

Odhadované náklady na výrobu: 4500 Kč

Celkem: 5900 Kč

Varianta B:

Odhadované náklady na materiál: 1500 Kč

Odhadované náklady na výrobu: 5500 Kč

Celkem: 7000 Kč

Varianta C:

Odhadované náklady na materiál: 1700 Kč

Odhadované náklady na výrobu: 4500 Kč

Celkem: 6200 Kč

Varianta D:

Odhadované náklady na materiál: 1300 Kč

Odhadované náklady na výrobu: 3300 Kč

Celkem: 4600 Kč

K3 – Rychlost adaptace na OM (přestavení na aktuální tvar OM):

- pouze odhad

Varianta A: 8 [min]

Varianta B: 10 [min]

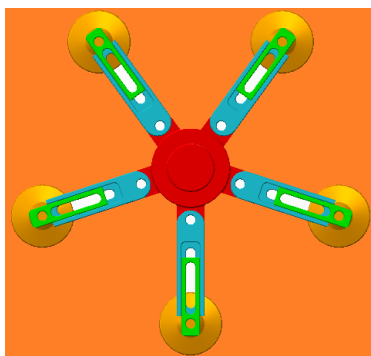
Varianta C: 13 [min]

Varianta D: 8 [min]

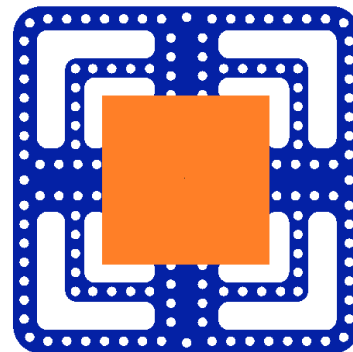
K4 – Využití plochy efektoru:

• oranžovou barvou je zaznačen nejmenší možný OM, vše co přesahuje přes OM je zaznačenou modrou barvou. Počet procent tedy představuje přesahující plochu.

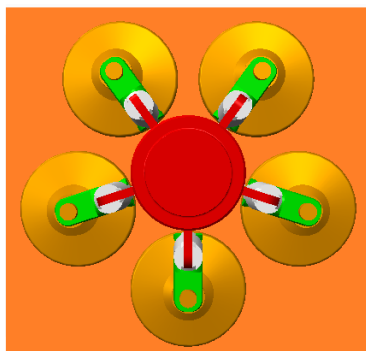
Varianta A:	5	[%]
Varianta B:	70	[%]
Varianta C:	5	[%]
Varianta D:	40	[%]



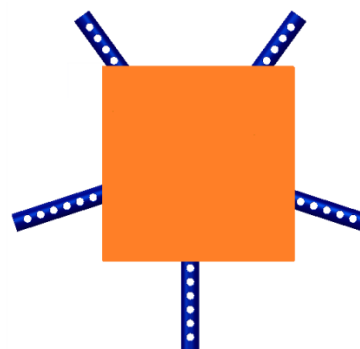
Obr. 26. K4 pro variantu A



Obr. 27. K4 pro variantu B



Obr. 28. K4 pro variantu C



Obr. 29. K4 pro variantu D

K5 – Spolehlivost konstrukce:**Varianta A:**

- při maximálním složení efektoru musí mít OM minimální rozměr,
- v případě delší doby provozu by mohlo dojít k mírnému pootočení ramene vůči základně, z důvodu špatného dotažení šroubu, který ji drží,
- kvůli špatnému dotažení šroubu by mohlo dojít k mírnému posuvu obou ramen po sobě.

Varianta B:

- daný minimální rozměr OM,
- při malém OM bude destička z důvodu své velikosti zasahovat do pracovního prostoru robotu, mohlo by dojít ke kolizi. Nevyužitý materiál by působil jako zátěž navíc, se kterou by musel robot manipulovat.

Varianta C:

- vysoké riziko možného natočení ramen v důsledku nedostatečného sevření ramen k sobě,
- možné natočení držáku přísavky z důvodu nedostatečného dotažení šroubu, který jej drží na nožce.

Varianta D:

- v případě maximálního složení efektoru musí mít OM minimální rozměr,
- při malém OM budou konce trubek z důvodu své velikosti zasahovat do pracovního prostoru robotu, mohlo by dojít ke kolizi. Nevyužitý materiál by působil jako zátěž navíc, se kterou by musel robot manipulovat.

6.5. Zhodnocení jednotlivých kritérií

Hodnotitelé:

VŠB – TUO – Martin Kaszper – Student

MSA Rimer Group, a. s. – Ing. Pavel Rumel – pozice Technolog

MSA Rimer Group, a. s. – Ing. Monika Khýrová – pozice Konstruktor

Pro váhu významnosti q , byla zvolena lineární závislost: $q = 0,25 * v + 1$, kde v je počet voleb.

	K1	K2	K3	K4	K5
Varianta A	4	4	5	5	4
Varianta B	3	3	4	2	3
Varianta C	5	3	2	5	3
Varianta D	3	5	5	3	3

Tab. 4. Zhodnocení jednotlivých kritérií – hodnotitel: Martin Kaszper

	K1	K2	K3	K4	K5
Varianta A	4	3	4	4	4
Varianta B	2	1	2	1	2
Varianta C	5	1	2	3	1
Varianta D	2	4	5	3	3

Tab. 5. Zhodnocení jednotlivých kritérií – hodnotitel: Ing. Pavel Rumel

	K1	K2	K3	K4	K5
Varianta A	4	3	4	5	5
Varianta B	3	4	3	2	2
Varianta C	5	3	2	3	1
Varianta D	3	5	5	3	3

Tab. 6. Zhodnocení jednotlivých kritérií – hodnotitel: Ing. Monika Khýrová

6.6. Porovnávání párů kritérií

- významnější kritérium je napsáno tučně červenou barvou.

Porovnávané páry kritérií				Počet voleb v	Váha významnosti q	Pořadí
K1	K1	K1	K1	3	1,75	1.
K2	K3	K4	K5			
	K2	K2	K2	2	1,5	4.
	K3	K4	K5			
		K3	K3	0	1	5.
		K4	K5			
			K4	2,5	1,625	2 – 3.
			K5	2,5	1,625	2. – 3.

Tab. 7. Porovnávání párů kritérií – hodnotitel: Martin Kaszper

Porovnávané páry kritérií				Počet voleb v	Váha významnosti q	Pořadí
K1	K1	K1	K1	2,5	1,625	2.
K2	K3	K4	K5			
	K2	K2	K2	1	1,25	4. – 5.
	K3	K4	K5			
	K3	K3	K3	1	1,25	4. – 5.
	K4	K5	K5			
		K4		2	1,5	3.
		K5		3,5	1,875	1.

Tab. 8. Porovnávání párů kritérií – hodnotitel: Ing. Pavel Rumel

Porovnávání páry kritérií				Počet voleb v	Váha významnosti q	Pořadí
K1	K1	K1	K1	3	1,75	1. – 2.
K2	K3	K4	K5			
	K2	K2	K2	1	1,25	4.
	K3	K4	K5			
		K3	K3	0,5	1,125	5.
		K4	K5			
			K4	2,5	1,625	3.
			K5	3	1,75	1. – 2.

Tab. 9. Porovnávání párů kritérií – hodnotitel: Ing. Monika Khýrová

6.7. Výpočet celkových indexů variant

Vážený index se vypočte:

$$i = q * \text{počet bodů}$$

Porovnání jednotlivých variant		Varianta A	Varianta B	Varianta C	Varianta D
Kritérium	Váha významnosti	Index	Index	Index	Index
K1	1,75	7	5,25	8,75	5,25
K2	1,5	6	4,5	4,5	7,5
K3	1	5	4	2	5
K4	1,625	8,125	3,25	8,125	4,875
K5	1,625	6,5	4,875	4,875	4,875
Celkový součet vážených indexů		32,625	21,875	28,25	27,5

Tab. 10. Výpočet celkových indexů variant – hodnotitel: Martin Kaszper

Porovnání jednotlivých variant		Varianta A	Varianta B	Varianta C	Varianta D
Kritérium	Váha významnosti	Index	Index	Index	Index
K1	1,625	6,5	3,25	8,125	3,25
K2	1,25	3,75	1,25	1,25	5
K3	1,25	5	2,5	2,5	6,25
K4	1,5	6	1,5	4,5	4,5
K5	1,875	7,5	3,75	1,875	5,625
Celkový součet vážených indexů		28,75	12,25	18,25	24,625

Tab. 11. Výpočet celkových indexů variant – hodnotitel: Ing. Pavel Rumel

Porovnání jednotlivých variant		Varianta A	Varianta B	Varianta C	Varianta D
Kritérium	Váha významnosti	Index	Index	Index	Index
K1	1,75	7	5,25	8,75	5,25
K2	1,25	3,75	5	3,75	6,25
K3	1,125	4,5	3,375	2,25	5,625
K4	1,875	8,125	3,25	4,875	4,875
K5	1,75	8,75	3,5	1,75	5,25
Celkový součet vážených indexů		32,125	20,375	21,375	27,25

Tab. 12. Výpočet celkových indexů variant – hodnotitel: Ing. Monika Khýrová

6.8. Vyhodnocení hodnotové analýzy

- výpočet průměru vážených indexů od všech hodnotitelů pro každou variantu
- Počet hodnotitelů: 3

$$\bar{\varphi}_i = \frac{\text{Celkový součet vážených indexů všech hodnotitelů}}{\text{Počet hodnotitelů}} \quad (1)$$

Hodnotitelé	Varianty			
	A	B	C	D
Martin Kaszper	32,625	21,875	28,25	27,5
Ing. Pavel Rumel	28,75	12,25	18,25	24,625
Ing. Monika Khýrová	32,125	20,375	21,375	27,25
Suma	93,5	54,5	67,875	79,375

Tab. 13. Vyhodnocení hodnotové analýzy – určení optimální varianty

Varianty	Průměr vážených indexů	Pořadí
A	31,167	1.
B	18,167	4.
C	22,625	3.
D	26,458	2.

Tab. 14. Vyhodnocení hodnotové analýzy – určení optimální varianty

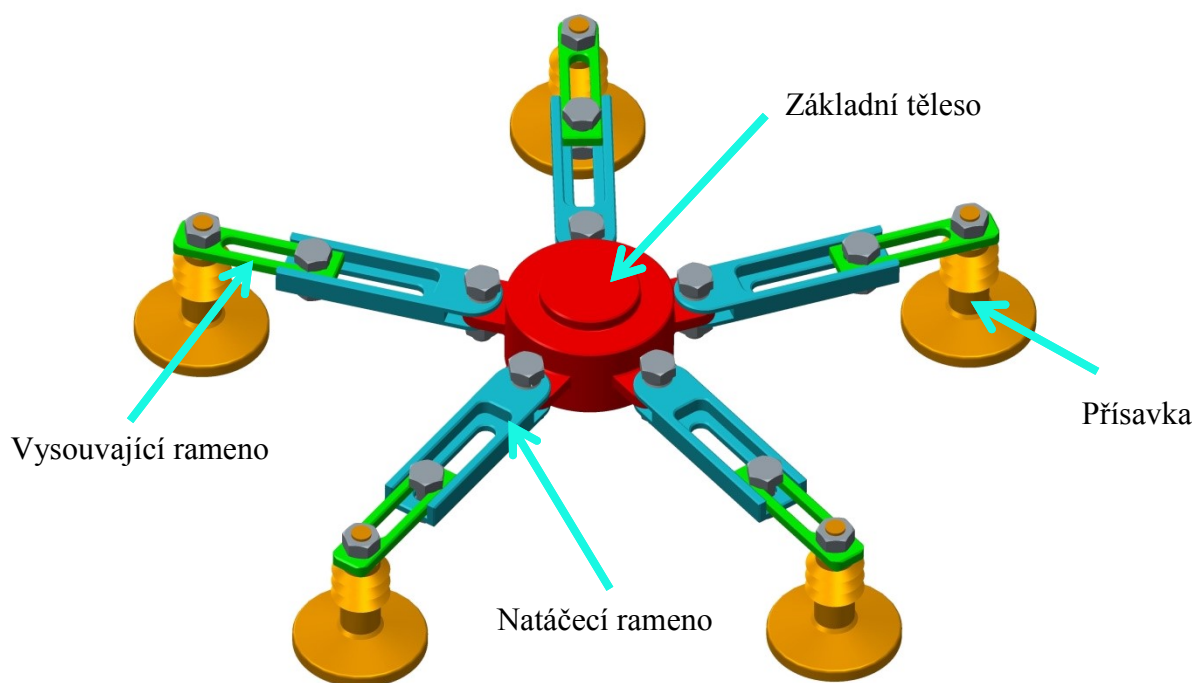
6.9. Závěr analýzy

K výběru optimální varianty byla použita výběrová analýza. Pro zaručení nezaujatého posudku všech variant se na analýze podíleli další dva lidé. A to Ing. Pavel Rumel a Ing. Monika Khýrová, za což jim děkuji.

Z tabulky 14 na straně 36 jasně vyplývá, že jako optimální varianta se jeví **varianta A**, protože dosáhla nejvyššího průměru bodů ze 4 navržených variant.

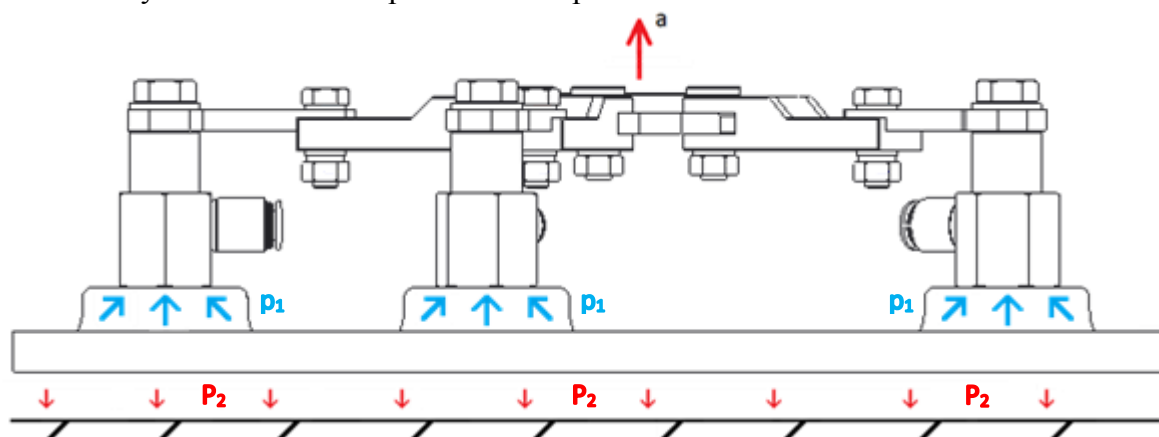
Tato varianta je blíže popsána v bodě 5. Varianty řešení na straně 25.

Optimální varianta



Obr. 30. Optimální varianta

Podmínka vyzvednutí OM z dopravníkového pásu.



Obr. 31. Nákres možného problému

Může nastat stav, kdy nedojde k nadzvednutí OM z dopravníkového pásu? Kdy $p_1 < p_2$?

Tento jev by mohl nastat, jsou-li obě stykové plochy (povrch OM a povrch pásu) dokonale hladké, nebo by mezi těmito povrchy musela být jistá vrstva kapaliny, například voda, nebo olej. Ta by zamezila vniknutí vzduchu mezi obě plochy a při pokusu o vyzvednutí dojde k náhlému vytvoření podtlaku. Tento podtlak bude větší, než podtlak vyvolaný všemi přísavkami, které zvedají OM. V důsledku toho by se OM odtrhl od přísavek a spadl zpět na pás. To by mohlo mít za následek poškození OM či jinou poruchu.

Hodně také záleží na velikosti těchto dvou stykových ploch. Při větších rozměrech dojde také ke vzniku většího podtlaku, vyvolaného vniknutím většího množství vzduchu pod OM. Dále záleží na velikosti zrychlení, kterým se začne OM nadzvedávat z dopravníku. Při velkém zrychlení se zvyšuje toto riziko mnohonásobně. Mimo to nelze opomenout, že na OM působí několik dalších sil a to síla gravitační, síla vyvolaná zrychlením robotu a odpor vzduchu při pohybu desky vzhůru jelikož má nezanedbatelné rozměry.

Za zadaných podmínek k danému jevu nedojde, protože dané plochy nemají dostatečnou drsnost, plocha OM není pro jev dostatečně velká a je velice malá pravděpodobnost, že by došlo k úniku kapaliny na dopravníkový pás.

Ochrana: dobře očištěné (nemastné) povrchy, zdrsňené povrchy
zabránění úniku kapalin mezi obě tělesa
opěrky (omezení kontaktu celé plochy OM pomocí několika podložek)
použití více přísavek, nebo přísavek s větší plochou
omezení velikosti zrychlení a , na maximální dovolenou hodnotu

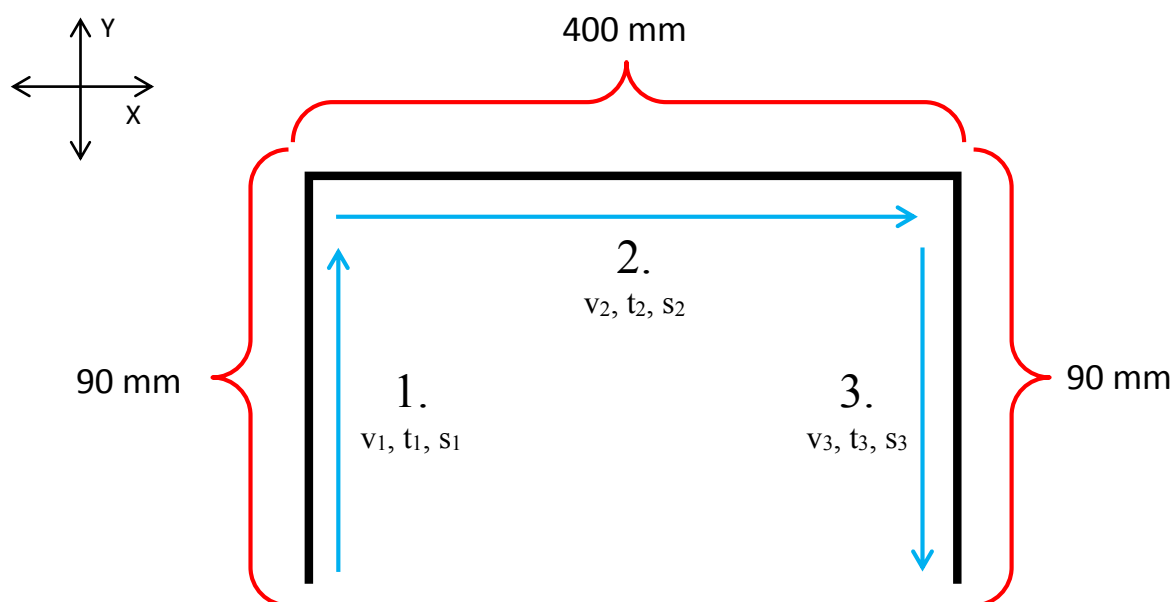
7. Výpočtová část

7.1. Výpočet maximálních zrychlení robotu

Před výpočtem působících sil na přísavku a provedení výpočtového návrhu průměru přísavky je potřeba určit možné maximální zrychlení robotu při plné zátěži tedy 3 kilogramů.

Výrobce neuvádí v žádném svém materiálu dodávaném k robotu omezující podmínky pohybu robotu při zatížení. A to konkrétně maximální možné zrychlení robotu s plným zatížením tedy 3 kilogramů. Žádné další informace nebyly zjištěny ani u výrobce. Je zde pouze uveden možný pracovní cyklus robotu s časovým údajem [17/str. 2.]. Z tohoto cyklu se tedy bude při výpočtu možných zrychlení vycházet.

Jedná se o cyklus **90 – 400 – 90 mm**. Tento cyklus stihne robot za **0,75** sekundy. Celkový čas je rozdělen mezi tři pohyby (1, 2, 3). Mezi ně je po-té rozdělen výsledný čas dle tohoto podílu. Pro 1. pohyb 20 %, pro 2. pohyb 60 % a pro poslední 3. pohyb 20 %. Přičemž první a druhý pohyb je stejný. Platí tedy: $v_1, a_1, t_1, s_1 = v_3, a_3, t_3, s_3$



Obr. 32. Pracovní cyklus robotu

DÁNO:

Celkový čas cyklu:

$$t_c = 0,75 \text{ s}$$

Přepočet času pro 1. a 3. pohyb:

$$\begin{aligned}
 t_1 &= \left(\frac{t_c}{100} \right) \cdot 20 \\
 t_1 &= \left(\frac{0,75}{100} \right) \cdot 20 \\
 \underline{\underline{t_1 &= 0,15 \text{ s}}}
 \end{aligned} \tag{2}$$

Přepočet času pro 2. pohyb:

$$\begin{aligned}
 t_2 &= \left(\frac{t_c}{100} \right) \cdot 60 \\
 t_2 &= \left(\frac{0,75}{100} \right) \cdot 60 \\
 \underline{\underline{t_2 &= 0,45 \text{ s}}}
 \end{aligned} \tag{3}$$

Při dalším výpočtu rychlostí a zrychlení bude odhadovaná doba rozběhu 20 % a odhadovaná doba doběhu ramene 20 % z celkového času pro daný pohyb.

DÁNO:

Celkový čas pro 1. a 3. pohyb:

$$t_1, t_3 = 0,15 \text{ s}$$

Celkový čas pro 2. pohyb:

$$t_2 = 0,45 \text{ s}$$

Celková dráha pro 1. a 3. pohyb:

$$s_1, s_3 = 90 \text{ mm} = 0,09 \text{ m}$$

Celková dráha pro 2. pohyb:

$$s_2 = 400 \text{ mm} = 0,4 \text{ m}$$

Přepočet rychlosti pro 1. a 3. pohyb:

$$\begin{aligned}
 v_1 &= \frac{s_1}{0,6 \cdot t_1} \\
 v_1 &= \frac{0,09}{0,6 \cdot 0,15} \\
 \underline{\underline{v_1 &= 1 \text{ m/s}}}
 \end{aligned} \tag{4}$$

Přepočet zrychlení pro 1. a 3. pohyb:

$$\begin{aligned}
 a_1 &= \frac{v_1}{0,2 \cdot t_1} \\
 a_1 &= \frac{1}{0,2 \cdot 0,15} \\
 \underline{\underline{a_1 &= 33,34 \text{ m/s}^2}}
 \end{aligned} \tag{5}$$

Přepočet rychlosti pro 2. pohyb:

$$v_2 = \frac{s_2}{0,6 \cdot t_2}$$

$$v_2 = \frac{0,4}{0,6 \cdot 0,45}$$

$$\underline{\underline{v_2 = 1,48 \text{ m/s}}}$$
(6)

Přepočet zrychlení pro 2. pohyb:

$$a_2 = \frac{v_2}{0,2 \cdot t_2}$$

$$a_2 = \frac{1,48}{0,2 \cdot 0,45}$$

$$\underline{\underline{a_2 = 16,5 \text{ m/s}^2}}$$
(7)

Vypočtené rychlosti a zrychlení by měly odpovídat použitým hodnotám při tomto konkrétním cyklu robotu uvedeném v [17/str. 2]. Z nich se bude dále vycházet při výpočtu potřebného průměru přísavek a síly působící na jedno rameno robotu při pohybu.

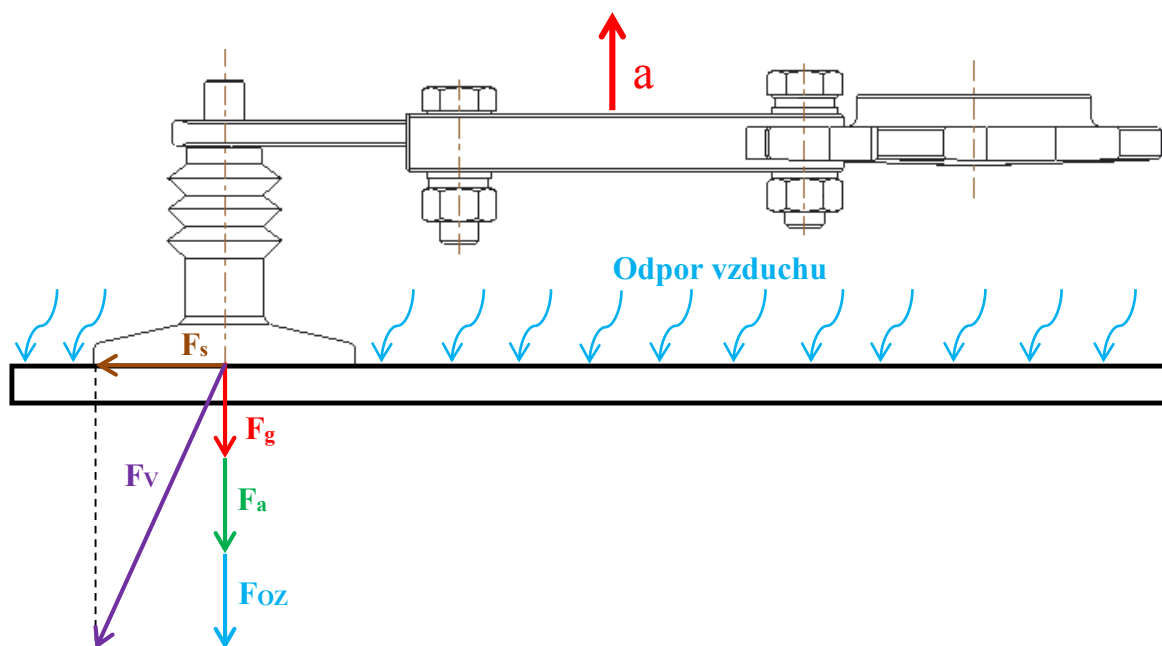
Volené maximální zrychlení robotu při:

Horizontálním pohybu: $a_h = 20 \text{ m/s}^2$

Vertikálním pohybu: $a_v = 35 \text{ m/s}^2$

7.2. Výpočet velikosti sil působících na přísavku při pohybu

7.2.1. Zakreslení působících sil na přísavku



Obr. 33. Působící síly na přísavku

F_{oz} – představuje sílu, kterou vyvolá plocha o rozměrech 300 x 300 mm při pohybu
(na str. 29/obr. 16 zaznačena jako odpor vzduchu)

F_g – gravitační síla

F_a – síla vyvolaná zrychlením

F_s – smyková síla, která vznikne při pohybu OM do strany

F_v – výsledná zatěžující síla

DÁNO:

Maximální hmotnost OM:	$m = 1,5 \text{ kg}$
Maximální zrychlení robotu:	$a_h = 20 \text{ m/s}^2 ; a_v = 35 \text{ m/s}^2$
Gravitační zrychlení:	$g = 9,81 \text{ m/s}^2$
Hustota vzduchu:	$\rho_0 = 1,153 \text{ kg/m}^3$
Plocha OM:	$S_p = 0,09 \text{ m}^2$
Součinitel odporu pro plochou desku:	$c_0 = 1,12 \quad [10]$
Třecí koeficient:	$\mu = 0,5 \quad [7/\text{str. } 45]$
Náporová rychlost	$v_\infty = 2 \text{ m/s}$

- Náporová rychlost v_∞ je rychlost proudícího vzduchu kolmo k danému objektu. Tato rychlost představuje rychlost objektu, za předpokladu, že v daném prostoru je bezvětrí. [19]
- Třecí koeficient je volen pro hladké, suché a nemastné povrchy. Je vhodný pro materiály, jako je kov, dřevo, sklo, kámen.
- Jelikož výrobce nestanovuje omezující hodnotu maximálního zrychlení při manipulaci s maximálním zatížením, bude ve výpočtu předpokládáno zrychlení vypočítané v příkladech (5) a (7).

Výpočet plochy OM:

$$\begin{aligned}
 S_p &= a \cdot b \\
 S_p &= 300 \cdot 300 \\
 \underline{\underline{S_p &= 90000 \text{ mm}^2 = 0,09 \text{ m}^2}}
 \end{aligned} \tag{8}$$

Výpočet velikosti gravitační síly F_g:

$$\begin{aligned}
 F_g &= m \cdot g \\
 F_g &= 1,5 \cdot 9,81 \\
 \underline{\underline{F_g &= 14,7 \text{ N}}}
 \end{aligned} \tag{9}$$

Výpočet síly vyvolané zrychlením F_a :

$$\begin{aligned} F_a &= m \cdot a_v \\ F_a &= 1,5 \cdot 35 \\ \underline{\underline{F_a}} &= \underline{\underline{52,5N}} \end{aligned} \quad (10)$$

Výpočet smykové síly F_S :

$$\begin{aligned} F_S &= \frac{m \cdot a_h}{\mu} \\ F_S &= \frac{1,5 \cdot 20}{0,5} \\ \underline{\underline{F_S}} &= \underline{\underline{60N}} \end{aligned} \quad (11)$$

Výpočet síly zaznačené jako odpor vzduchu F_{OZ} :

$$\begin{aligned} F_{OZ} &= \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot c_0 \cdot S_p \cdot v_\infty^2 \\ F_{OZ} &= \frac{1}{2} \cdot 1,153 \cdot 1,12 \cdot 0,09 \cdot 2^2 \\ \underline{\underline{F_{OZ}}} &= \underline{\underline{0,23N}} \end{aligned} \quad (12) / [19]$$

Výpočet celkové síly ve směru osy y F_y :

$$\begin{aligned} F_y &= F_g + F_a + F_{OZ} \\ F_y &= 14,7 + 52,5 + 0,23 \\ \underline{\underline{F_y}} &= \underline{\underline{67,43N}} \end{aligned} \quad (13)$$

Výpočet výsledné zatěžující síly F_V :

- S bezpečnostním koeficientem $k = 2$

$$\begin{aligned} F_V &= \sqrt{F_y^2 + F_S^2} \cdot k \\ F_V &= \sqrt{67,43^2 + 60^2} \cdot 2 \\ \underline{\underline{F_V}} &= \underline{\underline{180,5N}} \end{aligned} \quad (14)$$

Výpočet výsledné zatěžující síly F_{V1} :

- Počet přísavek: $n = 5$

$$\begin{aligned} F_{V1} &= \frac{F_V}{n} \\ F_{V1} &= \frac{180,5}{5} \\ \underline{\underline{F_{V1}}} &= \underline{\underline{36,1N}} \end{aligned} \quad (15)$$

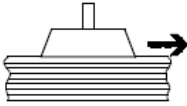
Dle výpočtu je velikost síly potřebné k udržení OM přísavku celkem 180,5 N. Jednou přísavkou je pak nutné vyvinout sílu 36,1 N při počtu pěti přísavek. Na tuto hodnotu je dimenzován průměr přísavky. Výběr proveden z katalogu od firmy Festo.

Nejprve se však provede druhý kontrolní výpočet dle katalogu firmy Festo. Celý výpočet je proveden dle [7] na straně 45 pro Case 2 (druhý případ), protože při pohybu s OM do strany působí na přísavku držící OM ještě smyková síla vyvolaná tímto pohybem.

7.2.2. Výpočet potřebné síly na jednu přísavku dle katalogu výrobce

Case 2

Horizontal suction gripper position,
horizontal direction of movement



$F_H = m \times \left(g + \frac{a}{\mu}\right) \times S$

Example:

$$F_H = 0.314 \text{ kg} \times \left(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} + \frac{5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}{0.1}\right) \times 1.5$$

$$F_H \approx 28 \text{ N}$$

Obr. 34. Vzorec pro výpočet a schéma pohybu z katalogu [7]

Výpočet celkové potřebné síly F_H :

$$F_H = m \cdot \left(g + \frac{a}{\mu}\right) \cdot S$$

$$F_H = 1,5 \cdot \left(9,81 + \frac{20}{0,5}\right) \cdot 2$$

$$\underline{\underline{F_H = 149,43 \text{ N}}}$$
(16)

Přepočet potřebné síly na jednu přísavku F_A :

$$F_A = \frac{F_H}{n}$$

$$F_A = \frac{149,43}{5}$$

$$\underline{\underline{F_A = 29,89 \text{ N}}}$$
(17)

Vypočtená velikost potřebné síly pro jednu přísavku F_A dle katalogu výrobce (viz bod 7.1.2) je nižší než vypočtená síla dle výpočtu (viz bod 7.1.1.). Tento rozdíl je způsoben odlišným postupem výpočtu. Jelikož první výpočet (7.1.1.) zahrnuje do výpočtu navíc reakci od působení zrychlení F_a , dále sílu F_{Oz} , kterou vyvolá plocha o rozměrech 300 x 300 mm při pohybu vzduchem.






- 44 -

Počítá také se dvěma pohyby současně, a sice s pohybem ve směru horizontálním a s pohybem ve směru vertikálním. Kdežto druhý výpočet (7.1.2.) počítá pouze s pohybem horizontálním. Z těchto důvodů je vybrána jako směrodatná síla pro volbu velikosti přísavky síla spočtená v prvním výpočtu (7.1.1.).

Ve výpočtu je volen koeficient bezpečnosti $k = 2$. Ten by měl být zcela dostačující. V katalogu výrobce je bezpečnostní koeficient roven rozmezí $k = (1,5 - 2)$. Ve výpočtu se však nebere v úvahu účinnost vzduchového systému. Díky vyššímu koeficientu bezpečnosti ($k = 2$) a volbou přísavky o vyšší hodnotě maximální síly přísavky než vypočtené měly by být tyto ztráty zcela pokryty.

Zcela obdobným výpočtem dostaneme maximální nosnost efektoru při použití 3 přísavek. Celková síla při zatížení 1 kg vychází 120,5 N s bezpečnostním koeficientem 2. Velikost síly, kterou potřebujeme vyvodit jednou přísavkou je 40 N. Maximální hmotnosti OM při použití 3 přísavek je 1 kg.

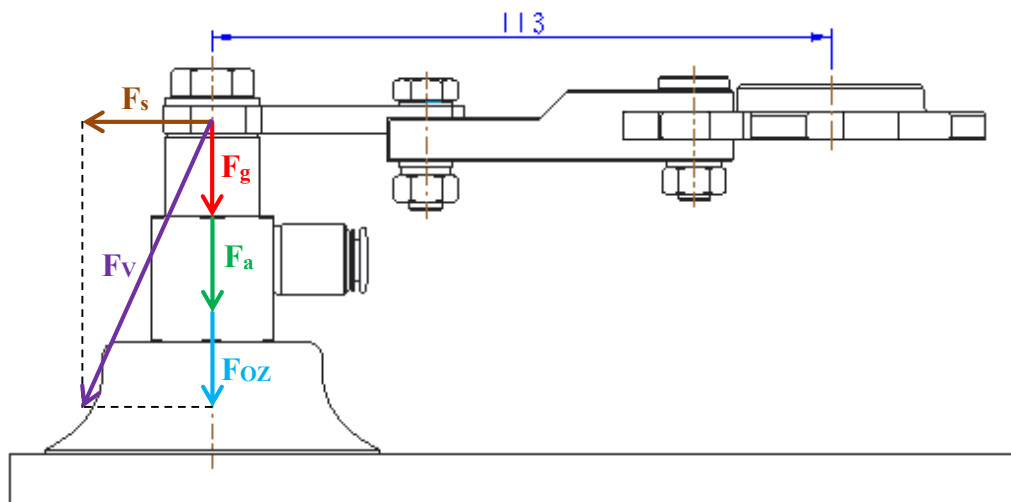
7.2.3. Volba přísavek z katalogu výrobce

Breakaway force F_A dependent on suction cup diameter and suction cup shape								
Round suction cup		F_A at -0.7 bar				Oval suction cup		F_A at -0.7 bar
Ordering data	Suction cup \varnothing	Standard	Extra deep	Bellows, 1.5 convolutions	Bellows, 3.5 convolutions	Ordering data	Suction cup size	Oval
	[mm]						[mm]	
→ ess	2	0.1 N				→ ess	4x10	2 N
	4	0.4 N					4x20	3.4 N
	6	1.1 N					6x10	2.9 N
	8	2.3 N					6x20	5.9 N
	10	3.9 N		4.7 N	3.9 N		8x20	8 N
	15	8.5 N	9.8 N				8x30	10.9 N
	20	16.3 N	17 N	12.9 N	8.2 N		10x30	15.2 N
	30	40.8 N	37.2 N	26.2 N	20.8 N		15x45	32 N
	40	69.6 N	67.6 N	52.3 N	42.4 N		20x60	62.8 N
	50	105.8 N	103.6 N	72.6 N	63.4 N		25x75	92.5 N
	60	166.1 N	162.5 N				30x90	134.4 N
	80	309.7 N	275 N	213.9 N				
	100	503.6 N	440.8 N					
	150	900 N						
	200	1,610 N						

Obr. 35. Volba velikost přísavky z katalogu výrobce [7]

Po vynesení vypočtené síly pro přísavku typu Standart z tabulky vyplývá, že potřebný průměr přísavky je 30 mm. Volena byla nejvyšší bližší hodnota průměru.

7.2.4. Výpočet maximální síly působící na jedno rameno



Obr. 36. Zakreslení působících sil na OM při pohybu

Výpočet této síly se bude provádět v nejkritičtějších možných okamžících a to při dvou sdružených pohybech ramene a to ve směru vertikálním a horizontálním.

F_{oz} – představuje sílu, kterou vyvolá plocha o rozměrech 300 x 300 mm při pohybu (na str. 29/obr. 16 zaznačena jako odpor vzduchu)

F_g – gravitační síla

F_a – síla vyvolaná zrychlením

F_s – smyková síla, která vznikne při pohybu OM do strany

F_v – výsledná zatěžující síla

DÁNO:

Maximální hmotnost OM:	$m = 1,5 \text{ kg}$
Maximální zrychlení robotu:	$a_h = 20 \text{ m/s}^2$; $a_v = 35 \text{ m/s}^2$
Gravitační zrychlení:	$g = 9,81 \text{ m/s}^2$
Hustota vzduchu:	$\rho_0 = 1,153 \text{ kg/m}^3$ [10]
Plocha OM:	$s = 0,09 \text{ m}^2$
Součinitel odporu pro plochou desku:	$c_0 = 1,12$ [10]
Náporová rychlost	$v_\infty = 2 \text{ m/s}$

Použijí se síly a hodnoty z předešlého výpočtu, jelikož zde je výpočet obdobný.

Velikost gravitační síly F_g : $F_g = 14,7 \text{ N}$ (9) /str. 33

Velikost síly vyvolané zrychlením F_a : $F_a = 52,5 \text{ N}$ (10) /str. 34

Velikost síly zaznačené jako odpor vzduchu F_{OZ} : $F_{OZ} = 0,23 \text{ N}$ (12) /str. 34

Výpočet smykové síly F_s :

$$\begin{aligned} F_s &= m \cdot a_h \\ F_s &= 1,5 \cdot 20 \\ \underline{\underline{F_s}} &= 30 \text{ N} \end{aligned} \quad (18)$$

Výpočet celkové síly ve směru osy y F_y :

$$\begin{aligned} F_y &= F_g + F_a + F_{OZ} \\ F_y &= 14,7 + 52,5 + 0,23 \\ \underline{\underline{F_y}} &= 67,43 \text{ N} \end{aligned} \quad (19)$$

Výpočet výsledné zatěžující síly F_V :

$$\begin{aligned} F_V &= \sqrt{F_y^2 + F_s^2} \\ F_V &= \sqrt{67,43^2 + 30^2} \\ \underline{\underline{F_V}} &= 73,8 \text{ N} \end{aligned} \quad (20)$$

Výpočet výsledné zatěžující síly působící na jedno rameno F_{V1} :

- Počet ramen: $n = 5$

$$\begin{aligned} F_{V1} &= \frac{F_V}{n} \\ F_{V1} &= \frac{73,8}{5} \\ \underline{\underline{F_{V1}}} &= 14,76 \text{ N} \end{aligned} \quad (21)$$

Dle výše uvedeného výpočtu, bude příruba robotu zatěžována silou 73,8 N. Jedno rameno efektoru pak bude zatěžováno silou 14,76 N.

Na toto zatížení byla provedena pevnostní analýza v programu Creo Parametric 2.0

7.2.5. Výpočet ukazatele kvality konstrukce [18/str. 147]

$$k = \frac{\text{Hmotnost OM}}{\text{Hmotnost efektoru}} = \frac{1,5}{1,5} = 1 \quad (22)$$

8. Kontrolní analýza efektoru

8.1. Pevnostní analýza

Byla provedena pevnostní kontrola tělesa efektoru bez přísavek a jejich držáků. Analýza byla zpracována v programu Creo Parametric 2.0 za asistence vedoucího práce pana Ing. Jiřího Marka. Jako výchozí zatížení byla použita síla vypočtená v bodě (21) /str. 47. Ta vychází s účinků OM při pohybu robotu.

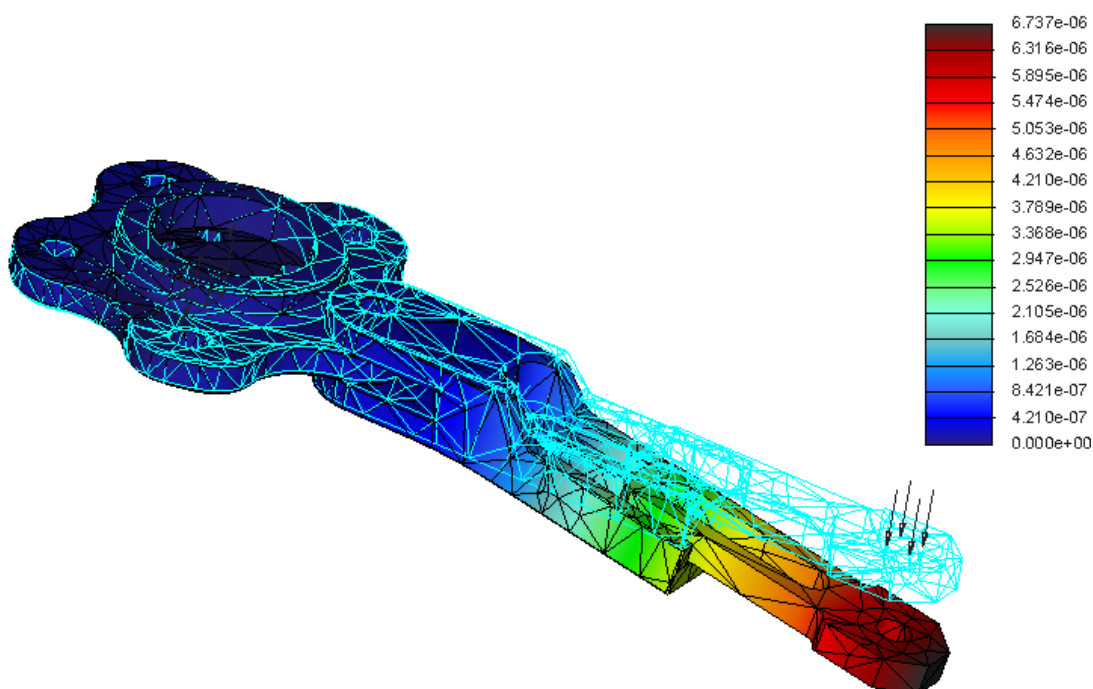
Tato analýza slouží pouze k zjištění maximálního průhybu ramene a k nalezení místa s největší koncentrací napětí. Tyto výsledky by byly použity k pozdější optimalizaci efektoru.

8.2. Vlastnosti materiálu efektoru

Vlastnosti materiálu		
Vlastnosti	Hodnota	Jednotky
Označení materiálu v Creo	Al 2014	-
Hustota	$2,794 \cdot 10^{-6}$	Kg/mm^3
Poissonovo číslo	0,33	-
Youngův modul pružnosti	$7,308 \cdot 10^7$	kPa

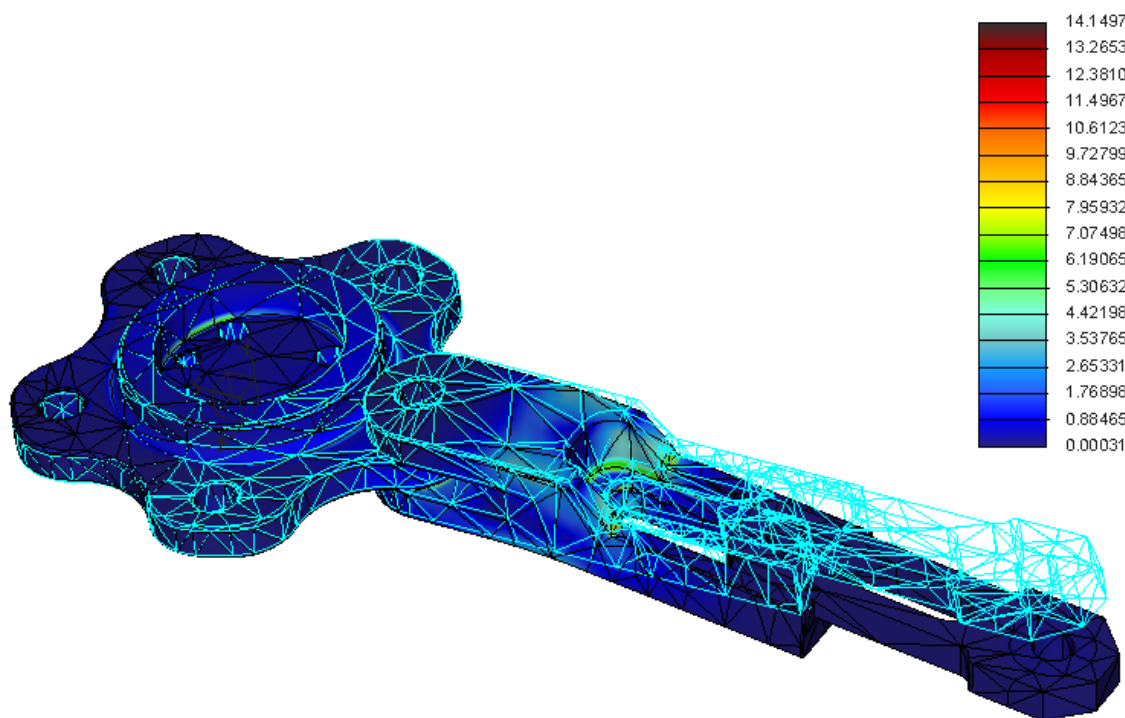
8.3. Výsledky analýzy

8.3.1. Analýza největšího průhybu ramene při maximálním zatížení



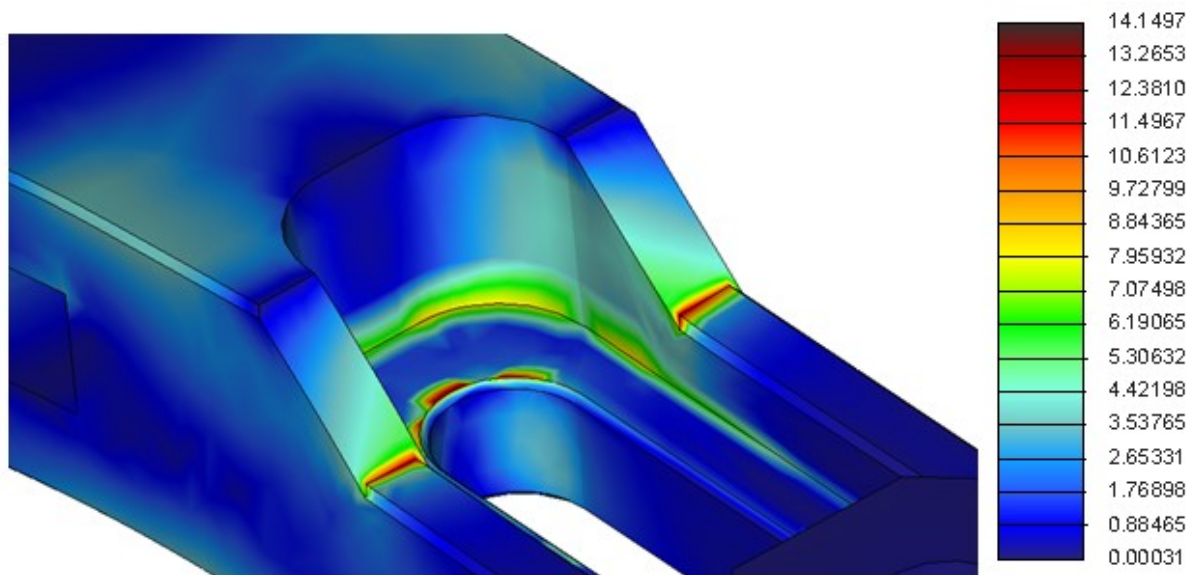
Obr. 37. Analýza maximálního průhybu ramene efektoru v mm

8.3.2. Analýza místo s největší koncentrací napětí



Obr. 38. Analýza maximálního napětí ramene efektoru v kPa

- Detail nejkritičtějšího místa:



Obr. 39. Detail místa s největším napětím

Z obrázků je patrné, že největší průhyb ramene při daném zatížení je $6,74 \cdot 10^{-6}$ mm tato hodnota je zanedbatelná. Největší napětí v nejkritičtějším místě je 14,2 kPa to je 0,0142 MPa toto napětí je adekvátní. Na tyto místa je potřeba se zaměřit při pozdější optimalizaci.

9. Výběr jednotlivých pneumatických prvků

- všechny prvky jsou vybrány z katalogu od firmy FESTO [15]

9.1. Přísavky



Obr. 40. Přísavka

Tabulka parametrů přísavky:

Druh	ESS
Typ	Standart – Kruhové – Ploché
Rozsah teplot	- 30 až + 200 °C
Průměr	30 mm
Materiál	Polyuretan
Barva	Modrá
Připojení přísavky	M6 x 1
Hmotnost	9 g
Objem přísavky	0,867 cm ³

Tab. 15. Parametry přísavky [15]

9.2. Držák přísavky



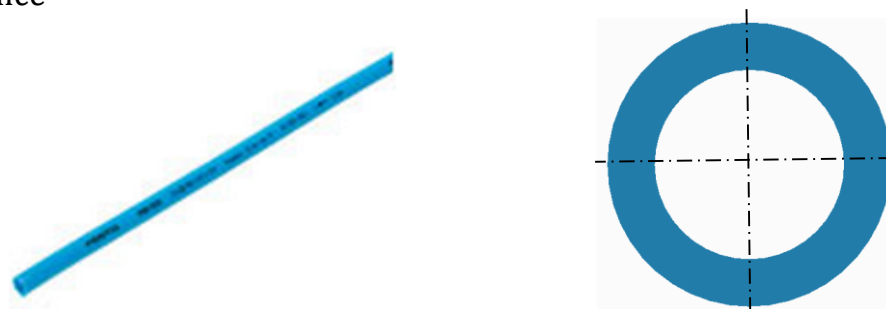
Obr. 41. Držák přísavky

Tabulka parametrů držáku přísavky:

Druh	ESG
Typ	HB
Celé označení	ESG-30-SU-HB-QS
Rozsah teplot	0 až + 60 °C
Materiál	Ocel, polyacetal, nitrilkaučuk
Připojení přísavky	M6 x 1
Upevňovací závit	M6 x 1
Připojení vakua	QS6
Hmotnost	27 g

Tab. 16. Parametry držáku [15]

9.3. Hadice



Obr. 42. Hadice

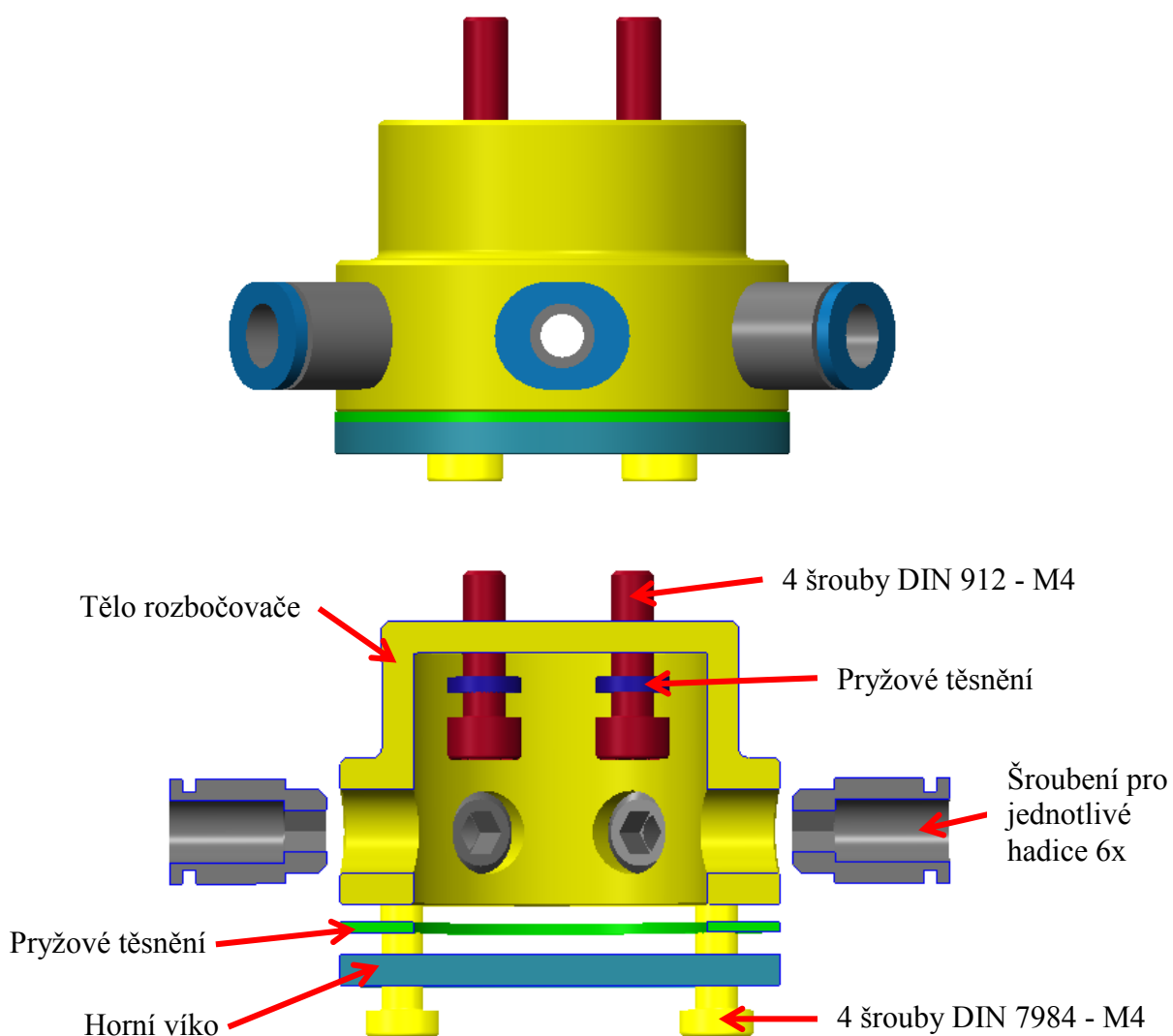
Tabulka parametrů hadice:

Druh	PUN-6x1-BL
Vnější průměr	6 mm
Vnitřní průměr	4 mm
Kalibrováno na:	Vnější průměr
Rozsah teplot	- 35 až + 60 °C
Materiál	Polyuretan
Minimální poloměr ohybu	16 mm
Provozní tlak (závisí na teplotě)	-0,95 – 10 bar
Barva	Modrá
Hmotnost	0,0192 kg/m

Tab. 17. Parametry hadice [15]

9.4. Rozbočovač

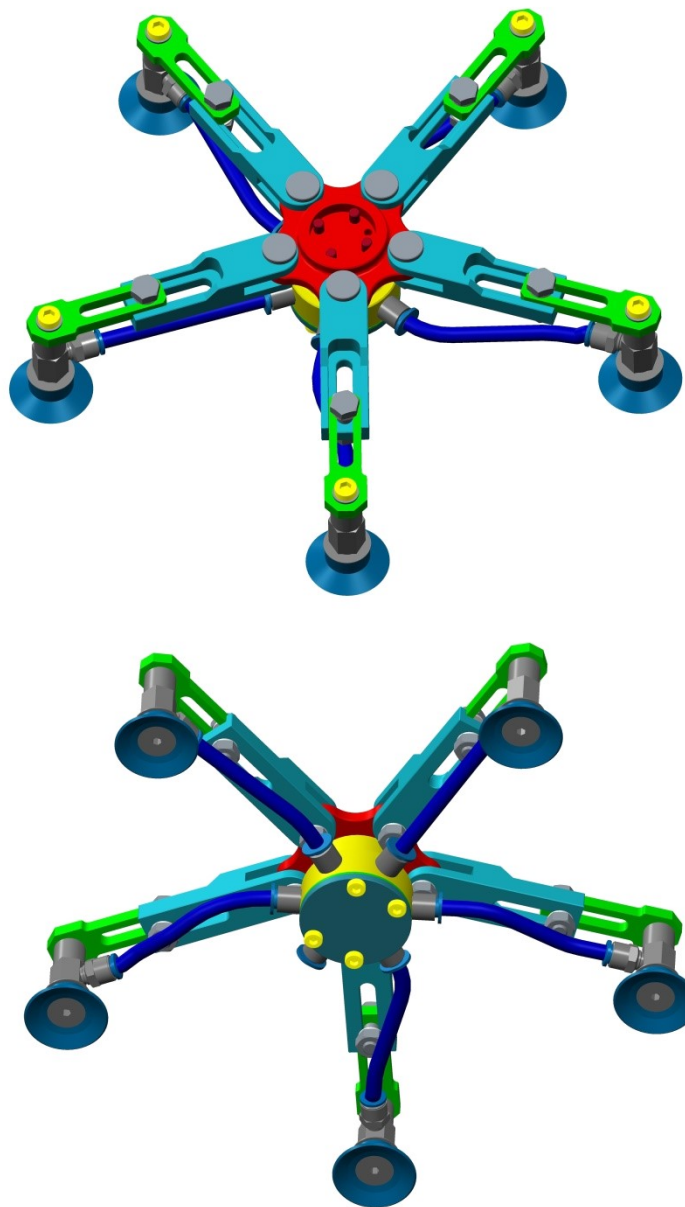
Jelikož nebyl nalezen žádný rozbočovač, který by splňoval podmínky pro danou aplikaci. Byl proveden návrh tělesa rozbočovače. Je uchycen pomocí 4 šroubů do interfacu robotu. Je zde 5 nástrčných šroubení pro každou z 5ti přísavek. Pak je zde ještě jedno šroubení pro hadici, která vede od ejektoru. Vše je zatěsněno pomocí pryžových těsnění.



Obr. 43. Navržený rozbočovač a řez jeho tělesem

10. Parametry efektoru

- Hmotnost efektoru: 1,5 kg
- Maximální hmotnost OM při **pěti** přísavkách: 1,5 kg
- Maximální hmotnost OM při **třech** přísavkách: 1 kg
- Maximální zrychlení ve vertikálním směru: 35 m/s²
- Maximální zrychlení v horizontálním směru: 20 m/s²
- Adaptace efektoru $\varnothing D_{\text{MIN}}/\varnothing D_{\text{MAX}}$: 180 / 232 mm
- Provozní podtlak: 0,7 bar
- Cena: 13 229 Kč
- Ukazatel kvality konstrukce k: 1



Obr. 44. Navržený efektor

11. Cenová kalkulace pro navržený efektor

V tabulce číslo 18. je uvedena kalkulace nákladů všech komponent v sestavě efektoru. Pevnou cenu najdeme u normalizovaných komponentů, přísavek a držáků přísavek. Avšak u vyráběných komponent je cena na polotovary a výrobu pouze odhadovaná. Cena rovněž nezahrnuje poštovné, balné ani dopravu, případné slevy při odběru více kusů.

Pořadí	Součást	P. kusů	Cena/Kus	Cena
n		ks	Kč	Kč
Sestava efektoru				
<i>Vyráběné součásti</i>				
1	Základna	1	1350	1350
2	Natáčecí rameno	5	680	3400
3	Vysouvající se rameno	5	550	2750
4	Čep	5	180	900
<i>Nakupované a normalizované součásti</i>				
5	Hadice Ø 6	1	45	45
6	Držák přísavky HB a přísavka Ø 30	5	710	3550
7	ŠROUB M6x18 ISO 4014 – 8.8	5	2	10
8	ŠROUB M5x14 ISO 4762 – 5	5	11	55
9	MATICE M6x1 ISO 4032	10	3	30
10	PODLOŽKA 6 ISO 7090 – 1	15	0,3	4,5
11	PODLOŽKA 8 ISO 7090 – 1	5	0,3	1,5
Sestava rozbočovače				
<i>Vyráběné součásti</i>				
12	Tělo rozbočovače	1	540	540
13	Víko rozbočovače	1	120	220
<i>Nakupované a normalizované díly</i>				
14	ŠROUB M4x14 ISO 4762 – 5	4	10	40
15	Pryžové těsnění pod M4x14	4	8	32
16	Pryžové těsnění pod víko	1	35	35
17	ŠROUB M14x12 ISO 4762 – 5	4	14	56
18	Nástrčné šroubení pro hadice	6	35	210
Suma				13 229 Kč

Tab. 18. Cenová kalkulace efektoru

12. ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo navrhnout vícepřísavkový efektor pro paralelní robot ABB IRB 360 situovaný na centru robotiky v areálu VŠB – TUO. Součástí bylo provedení analýzy současného stavu, návrh několika variant řešení, výběr optimální varianty a její zpracování do úrovně technické dokumentace a to včetně potřebných výpočtů. Na závěr pak vypracování cenové kalkulace pro navržený efektor.

Na základě analýzy současného stavu a domluvě s vedoucím práce byl stanoven požadavkový list. Z něj vzešly podmínky, ze kterých pak byly vypracovány 4 možné varianty řešení. Každá z nich se liší svou specifickou konstrukcí. Během zpracovávání výběrové analýzy se hodnotily vybraná kritéria dle požadavků vycházejících z požadavkového listu. Jako nejméně vyhovující varianta byla vyhodnocena varianta B. Ta neobstála z důvodů vyšší hmotnosti a neefektivního využití plochy efektoru. Jako třetí skončila varianta C. Měla příznivou hmotnost celé konstrukce, ale nejvyšší požadavek na rychlost adaptace efektoru na OM a dále nízkou spolehlivost konstrukce. Varianta D s vyšší hmotností než ostatní varianty nebyla dostatečně adaptivní na měnící se tvar OM. Jako optimální se tedy ukázala varianta A.

Ve výpočtové části práce se nejprve provedl výpočet působících sil na přísavku. Podle výslednice těchto sil se poté zvolila dle tabulky výrobce přísavek nejbližší vyšší hodnota síly vyvozené přísavkou. Dle ní se následně vybral vhodný držák přísavky. Z důvodu rozměrové nevhodnosti standartních rozbočovačů od běžných výrobců byl proveden návrh vlastního rozbočovače.

V závěru práce byla provedena 3D analýza největšího průhybu ramene v místě uchycení přísavky a zjištění místa s největší koncentrací napětí v efektoru při maximálním zatížení. Tato analýza byla provedena v programu Creo Parametric 2.0.

Maximální nosnost efektoru při použití pěti přísavek je 1,5 kg, při použití 3 přísavek pak pouze 1 kg. Celková odhadovaná cena se vyšplhala na 13 229 Kč. Provozní tlak efektoru je 0,7 bar. Ukazatel kvality konstrukce vychází roven 1 tato hodnota je vyhovující.

Další náměty na pokračování jsou:

- Rozměrová optimalizace efektoru dle výsledků 3D analýzy,
- Zpracování modelové situace pracovního cyklu robotu v programu RobotStudio,
- Výroba efektoru a provedení zkoušek přímo na robotu IRB 360 na centru robotiky.

13. Seznam použité literatury a elektronických podkladů

- [1] ABB IRB 360 *Primary information* [online]. [cit. 2014-09-27]. Dostupné z: <http://www.abb.cz/product/seitp327/6ee555051fd540fac125749f00375d79.aspx?productLanguage=cz&country=CZ>
- [2] ABB IRB 360. *Tisková zpráva*. [online]. [cit. 2014-09-27]. Dostupné z: <http://www.abb.cz/product/seitp327/6ee555051fd540fac125749f00375d79.aspx>
- [3] BAJÁK, Zdeněk. 2009. *INTEGRACE PODTLAKOVÉHO KONCOVÉHO EFEKTORU DO ROBOTICKÉHO PRACOVISTĚ*. VUT Brno, Diplomová práce [cit. 2015-05-09]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=18773
- [4] DESTACO: *vakuová technika* [online]. [cit. 2015-05-09]. Dostupné z: <http://www.exactec.com/destaco/index.php/destaco-vakuova-technika>
- [5] ABB. IRB 360 FlexPicker™: The second generation FlexPicker robot [online]. [cit. 2015-05-07]. Dostupné z: <http://new.abb.com/products/robotics/industrial-robots/irb-360>
- [6] TOMÁŠ, Červenka. 2014. *Výukové pracoviště s průmyslovým robotem IRB360*. Ostrava. Dostupné také z: <https://dspace.vsb.cz/handle/10084/104876>. Diplomová práce. VŠB-TUO. Vedoucí práce prof. Dr. Ing. Petr Novák
- [7] FESTO. 2012. *Basic principles of vacuum technology, brief overview: Introduction* [online]. [cit. 2015-05-07]. Dostupné z: http://www.festo.com/net/SupportPortal/Files/286804/Basic_Vacuum_Technology_Principi.pdf
- [8] *IRB 360 FlexPicker™: Technická data pro IRB 360 FlexPicker* [online]. 2015. [cit. 2015-05-07]. Dostupné z: <http://new.abb.com/products/robotics/cs/prumyslove-roboty/irb-360/irb-360-technicka-data>
- [9] BENGTTSSON, Klas. 2013. Library ABB. *Flexpicker family IRB 360* [online]. [cit. 2015-05-07]. Dostupné z: <https://library.e.abb.com/public/5089951be174befec1257c430032d757/IRB%20360-Range.pdf?filename=IRB%20360-Range.pdf>

- [10] *Extrémně lehkí a stabilní kluzáci: Hodnoty odporu rozličných tvarů těles* [online]. MUNI [cit. 2015-05-09]. Dostupné z: <http://is.muni.cz/do/ped/kat/biologie/pokusy/pages/kluzaci.html>
- [11] Přísavky s háčkem [online]. [cit. 2015-05-07]. Dostupné z: <http://www.kuchynskepotreby.cz/cz-detail-94943-hacek-s-prisavkou-3ks.html>
- [12] Brufus: Přísavka na sklo a obklady [online]. [cit. 2015-05-07]. Dostupné z: <http://www.brufus.cz/prisavka-na-sklo-a-obklady-dvojita-plast-ean36306-skup9671.php>
- [13] Simulace a off-line programování robotických buněk: Přesnost OLP [online]. VUT Brno [cit. 2015-05-07]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/simulace-a-off-line-programovani-robotickych-bunek.html>
- [14] Pneumatické prvky: Vakuové přísavky [online]. 2014. Kovaz s.r.o. [cit. 2015-05-09]. Dostupné z: <http://www.hydraulika-pneumatika.cz/vakuove-prisavky-c861/>
- [15] *Festo: přísavky ESS/ESV* [online]. 2013. [cit. 2015-05-09]. Dostupné z: https://www.festo.com/cat/cs_cz/data/doc_cs/PDF/CZ/ESS-ESV_CZ.PDF
- [16] BENEK, Radim. 2013. *Efektor robotu: Efektor pro robot ABB IRB 360 s funkcí zásobníku OM*. Ostrava. Dostupné také z: <https://dspace.vsb.cz/handle/10084/99516.2013>. Diplomová práce. VŠB-TUO. Vedoucí práce prof. Dr. Ing. Petr Novák.
- [17] ABB. *IRB 360 FlexPicker: Datasheet* [online]. [cit. 2015-05-13]. Dostupné z: https://library.e.abb.com/public/73be9c1fdd45bba5c1257c21004696e7/ROB0082EN_G.pdf?filename=ROB0082EN_G.pdf
- [18] Prof. Ing. SKAŘUPA, Jiří CSc. *Průmyslové roboty a manipulátory*. 1. Vydání. Ostrava. 2007. Skripta. VŠB-TUO. Editační středisko VŠB-TU Ostrava. 260 s. ISBN 978-80-248-1522-0
- [19] Ing. KÁRNÍK, Ladislav CSc. *Servisní roboty*. 1. Vydání. Ostrava. 2004. Skripta. VŠB-TUO. Editační středisko VŠB-TU Ostrava. 114 s. ISBN 80-248-0626-6
- [20] BONEY, Ilian. 2001. *Delta Parallel Robot: The Story of Success* [online]. [cit. 2015-05-13]. Dostupné z: <http://www.parallemic.org/Reviews/Review002.html>

- [21] FANUC. *Roboty: Delta robot M-2* [online]. [cit. 2015-05-13]. Dostupné z: <http://www.fanuc.eu/cz/cs/robots/str%C3%A1nka-filtru-robot%C5%AF/m2-series>
- [22] *Kawasaki Robotics: Kawasaki Delta robot* [online]. [cit. 2015-05-13]. Dostupné z: <http://news.cision.com/kawasaki-robotics-uk-limited/r/packaging-sector-debut-for-new-kawasaki-delta-robot-at-ppma-show,c9144601>
- [23] Codian Robotics: *Second generation D4-800-2 delta robot* [online] [cit. 2015-05-13]. Dostupné z: http://www.codian-robotics.com/en/robotics/d4_robots/?r=54
- [24] Bonitron: *Pick & Place robot* [online]. [cit. 2015-05-13]. Dostupné z: <http://www.bonitron.com/industry-material-handling.html>

14. Seznam příloh

Výkresová dokumentace

- Sestavný výkres efektoru: KAS0104 – BP – 01
- Výrobní výkres základny: KAS0104 – BP – 02
- Výrobní výkres ramene: KAS0104 – BP – 03

Přiložené DVD:

Obsahuje:

- Výkresová dokumentace v programu Creo Parametric 2.0
- 3D model optimální varianty v programu Creo Parametric 2.0
- Bakalářská práce.pdf
- Katalogový list od ABB IRB 360
- Pevnostní analýza v programu Creo Parametric 2.0